

USO DE VEGETAÇÃO NA ENVOLVENTE VERTICAL DOS EDIFÍCIOS

FRANCISCO CUNHA SANTOS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446



miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440



feup@fe.up.pt



<http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Aos meus Pais e Irmã

AGRADECIMENTOS

Quero desde logo agradecer à minha orientadora, a professora Maria Helena Póvoas Corvacho, pelo tempo e atenção disponibilizados para me guiar nesta tese. Sem o seu apoio contínuo com certeza não conseguiria concluir este trabalho.

Aos meus amigos, especialmente o António, o Pedro e o Ricardo, agradeço pelos momentos de descontração que me proporcionaram, pois ajudaram-me a clarear as ideias e a recarregar baterias para continuar o trabalho necessário.

Por último, o meu agradecimento incondicional aos meus pais e irmã pelo apoio demonstrado.

RESUMO

Soluções que contribuam para a melhoria do meio ambiente devem ser procuradas, especialmente nos dias de hoje. Aqui entra a possibilidade de integrar espaços verdes no edificado, nomeadamente na sua envolvente vertical.

Cabe ao engenheiro civil descobrir qual a melhor forma de fazer essa integração, especialmente em elementos verticais, e de conciliar a satisfação do utilizador do ponto de vista de conforto e do auxílio que a vegetação no edifício prestará ao meio ambiente.

Nesta tese, o autor pretende contribuir para o referido anteriormente ao começar por uma introdução histórica da relação da vegetação com o edifício e o ser humano. Partindo depois para a apresentação das várias maneiras que existem de integrar a vegetação em edifícios de forma a demonstrar os diferentes sistemas existentes para o realizar.

Vantagens do ponto de vista térmico e de um ponto de vista geral observadas por autores diferentes também são mencionadas, assim como exemplos de casos de estudo de forma a validar determinadas vantagens.

Uma simulação de uma habitação com vegetação integrada na sua fachada será realizada de forma a retirar conclusões sobre qual a melhor orientação da fachada a se colocar vegetação, se fachadas com vegetação no clima português apresentam resultados semelhantes a fachadas com vegetação noutros climas e se faz sentido aplicar este conceito a edifícios sob o clima português.

PALAVRAS-CHAVE: VGS, Simulação, Parede verde, Fachadas verdes, Paredes vivas

ABSTRACT

Solutions that contribute to the enhancement of the environment should be looked for, especially nowadays. Here, enters the possibility of integrating green spaces in the building, namely in their vertical surroundings.

It's up to the civil engineer to find out which is the best way of doing such integration, especially in vertical elements, and of conciliating the users satisfaction from the thermal point of view and from the aid that vegetation in the building will lend to the environment.

In this thesis, the author pretends to contribute to what was mentioned before by beginning with an historical introduction of the relationship between vegetation, building and human being. Moving on to the different ways there are of integrating vegetation in buildings in order to demonstrate the different systems there are to accomplish it.

Advantages from the thermal point of view and from an overall point of view observed by different authors are also mentioned, as well as examples of case studies to validate certain advantages.

A simulation of a residence with integrated vegetation on its facade will be fulfilled to retrieve conclusions about which orientation of the facade is the best to place vegetation, if facades with vegetation under portuguese climate show similar results to facades with vegetation under different climates and if it makes sense to apply this concept to buildings under the portuguese climate.

KEYWORDS: VGS, Simulation, Green wall, Green facade, Living wall

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO	1
1.3. ESTRUTURA DO TEXTO	2
2. ESTADO DA ARTE	3
2.1. HISTÓRIA	3
2.2. NOMENCLATURA	7
2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS VGS	8
2.3.1. FACHADAS VERDES	10
2.3.1.1. Fachadas verdes diretas	10
2.3.1.2. Fachadas verdes indiretas	11
2.3.2. PAREDES VIVAS	14
2.3.2.1. Tapetes vegetais	15
2.3.2.2. Modulares	15
2.4. INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO	18
2.4.1. SOMBREAMENTO	19
2.4.2. ARREFECIMENTO	20
2.4.3. ISOLAMENTO	20
2.4.4. BARREIRA CONTRA O VENTO	21
2.5. EXEMPLO DE CASOS DE ESTUDO	21
2.5.1. EXEMPLO 1	21
2.5.2. EXEMPLO 2	22
2.5.3. EXEMPLO 3	24
2.5.4. EXEMPLO 4	25
2.5.4. EXEMPLO 5	26
2.5.6. EXEMPLO 6	27

2.5.7. EXEMPLO 7.....	28
2.6. OUTRAS VANTAGENS	29
2.6.1. SOCIAIS.....	29
2.6.1.1. Psicológicas	29
2.6.1.2. Físicas	30
2.6.1.3. Acústicas	30
2.6.1.4. Estéticas	30
2.6.2. AMBIENTAIS.....	31
2.6.2.1. Qualidade do ar.....	31
2.6.2.2. Drenagem.....	31
2.6.2.3. Biodiversidade	31
2.6.2.4. "Urban heat island".....	32
2.6.2.5. Filtro.....	32
2.6.2.6. Microclima	32
2.6.3. ECONÓMICAS.....	32
 3. SIMULAÇÃO	 35
3.1. NOTA PRÉVIA	35
3.2. MODELO GERAL	37
3.3. ESTUDO DE MODELOS VEGETAIS	40
3.3.1. MODELO 0.....	40
3.3.2. MODELO 1	40
3.3.3. MODELO 2.....	41
3.3.4. MODELO 3.....	42
3.3.5. RESULTADOS.....	43
3.3.5.1. Modelo 0.....	44
3.3.5.2. Modelo 1	45
3.3.5.3. Modelo 2.....	46
3.3.5.4. Modelo 3.....	47
3.3.6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	47
3.4. MODELO VEGETAL A SIMULAR	48
3.4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MODELO	48
3.4.2. VALIDAÇÃO DO MODELO	49

3.4.2.1. Validação 1	49
3.4.2.2. Validação 2	51

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS ... 55

4.1. ENQUADRAMENTO 55

4.2. SEMANA MAIS FRIA DO INVERNO 56

4.2.1. CENÁRIO A 56

4.2.1.1. Nota prévia 56

4.2.1.2. Évora 57

4.2.1.3. Bragança 58

4.2.1.4. Porto de Mós 58

4.2.2. CENÁRIO B 59

4.2.2.1. Évora 59

4.2.2.2. Bragança 60

4.2.2.3. Porto de Mós 61

4.3. SEMANA MAIS QUENTE DO VERÃO 62

4.3.1. CENÁRIO A 62

4.3.1.1. Nota prévia 62

4.3.1.2. Évora 62

4.3.1.3. Bragança 63

4.3.1.4. Porto de Mós 64

4.3.2. CENÁRIO B 64

4.3.2.1. Évora 64

4.3.2.2. Bragança 65

4.3.2.3. Porto de Mós 66

5. CONCLUSÃO 69

5.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS 69

5.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO 70

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 71

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Zigurate de Nanna (Simões, 2012)	3
Fig. 2 - Jardins suspensos da Babilónia (Sousa, 2012).....	4
Fig. 3 – Pérgula numa habitação romana (Oliveira, 2014)	4
Fig. 4 – Organização de uma habitação romana. Adaptado de (Gaspar, 2013)	5
Fig. 5 – Exemplo de “turfhouses” (Ferreira, 2015)	5
Fig. 6 – Casa Scheu projetada por Adolf Loos (Sousa, 2012).....	6
Fig. 7 – Caixa Forum em Madrid (Manso e Castro-Gomes, 2015).....	7
Fig. 8 – Exemplo de uma fachada verde (Köhler, 2008)	10
Fig. 9 – Exemplo de uma fachada verde direta (Pérez et al., 2014).....	11
Fig. 10 – Exemplo de uma fachada verde indireta (Manso e Castro-Gomes, 2015).....	11
Fig. 11 – Exemplo de um sistema de rede (Ferreira, 2015)	12
Fig. 12 – Exemplo de um sistema de cabos (Pérez et al., 2014)	13
Fig. 13 – Exemplo de um sistema de treliças modulares (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010)	13
Fig. 14 – Exemplo de um sistema de treliças modulares personalizado (Timur e Karaca, 2013).....	14
Fig. 15 – Exemplo de uma parede viva (Ottelé).....	14
Fig. 16 – Exemplo de um tapete vegetal da autoria de Patrick Blanc (Blanc, 2008).....	15
Fig. 17 – Exemplo de um módulo de uma parede viva modular (Greenroofs)	16
Fig. 18 – Exemplo de uma parede viva modular formada por tabuleiros (Perini et al., 2011).....	16
Fig. 19 – Exemplo de uma parede viva modular formada por vasos (Blaze)	17
Fig. 20 – Exemplo de uma parede viva modular formada por peças cerâmicas (Mischner).....	17
Fig. 21 – Exemplo de uma parede viva modular formada por sacos flexíveis (Walls)	18
Fig. 22 – Distribuição da radiação e do calor numa parede verde coberta por <i>Hedera Helix</i> (Vasconcelos, 2012).....	19
Fig. 23 – Exemplo de um corte de uma fachada verde indireta (Ottelé et al., 2011)	20
Fig. 24 – Fachada onde a vegetação está aplicada, juntamente com a localização dos sensores (Antonyová, Antony e Korjenic, 2017).....	22
Fig. 25 – Exemplo de uma medição da temperatura do ar e humidade relativa entre a vegetação e a fachada. A azul temos a humidade relativa, a vermelho a temperatura do ar e a castanho as diferenças de temperatura (Antonyová, Antony e Korjenic, 2017)	22
Fig. 26 – Localização das fachadas estudadas (Susorova, Azimi e Stephens, 2014)	23
Fig. 27 – Locais de cada fachada diferente, onde se realizaram as medições (Susorova, Azimi e Stephens, 2014)	23
Fig. 28 – Habitação em estudo e o correspondente VGS aplicado (Pérez et al., 2011b)	25

Fig. 29 – Fachada verde direta, fachada verde indireta – malha e parede viva – modular (Da esquerda para a direita) (Perini et al., 2011)	26
Fig. 30 – Paredes vivas – tapetes (imagem da esquerda e central) e parede viva modular (imagem à direita) estudadas (Mazzali et al., 2013)	27
Fig. 31 – Edifício em estudo. Retirado de (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010)	28
Fig. 32 – Representação visual do VGS aplicado. Retirado de (Cheng, Cheung e Chu, 2010)	29
Fig. 33 – Localização do quarto em análise (Quarto_2) e da parede em análise. Retirado do DesignBuilder	36
Fig. 34 – Representação 3D da habitação no DesignBuilder	37
Fig. 35 – Representação 3D do piso 1 no DesignBuilder	37
Fig. 36 – Representação 3D do piso 2 no DesignBuilder	38
Fig. 37 – Esquema construtivo da parede em análise. Parede fornecida pelo DesignBuilder	38
Fig. 38 – Características do vidro. Retirado do DesignBuilder	39
Fig. 39 – Representação visual do modelo 1. X representa o rácio de cobertura pelas folhas da “Hedera Helix” (Juri Yoshimi e Altan, 2011)	40
Fig. 40 – Representação visual do modelo 2	41
Fig. 41 – Propriedades da camada de vegetação. Retirado do programa DesignBuilder	41
Fig. 42 – Propriedades da superfície da camada de vegetação. Retirado do programa DesignBuilder	41
Fig. 43 – Representação visual do modelo 3	42
Fig. 44 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior	44
Fig. 45 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior	44
Fig. 46 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior	45
Fig. 47 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior	45
Fig. 48 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior	46
Fig. 49 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior	46
Fig. 50 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior	47
Fig. 51 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior	47
Fig. 52 – Representação visual do modelo (apenas da zona com vegetação)	48
Fig. 53 – Retirado de (Juri Yoshimi e Altan, 2011)	50
Fig. 54 – Representação visual do modelo (apenas da zona com vegetação). Adaptado de (Juri Yoshimi e Altan, 2011)	50
Fig. 55 – Modelo que simula uma camada de vegetação de 200 mm. Adaptado de (Holm, 1989)	51
Fig. 56 – Temperatura simulada (traço interrompido) e medida (traço cheio) da folhagem para o Inverno	53

Fig. 57 – Temperatura simulada (traço interrompido) e medida (traço cheio) da folhagem para o Verão	53
Fig. 58 – Coeficientes de correlação entre temperaturas medidas e simuladas. Retirado de (Holm, 1989)	54

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos termos encontrados e as suas respetivas referências bibliográficas	7
Quadro 2 - Caracterização adaptada de (Manso e Castro-Gomes, 2015)	8
Quadro 3 - Caracterização adaptada de (Pérez et al., 2011b)	9
Quadro 4 - Caracterização adaptada de (Elgizawy, 2016)	9
Quadro 5 - Proposta de classificação para os VGS.....	9
Quadro 6 - Zonas climáticas escolhidas	35
Quadro 7 - Resumo das diferentes situações a simular	36
Quadro 8 - Valores estimados de R para diferentes VGS, em condições de Inverno.....	42
Quadro 9 - Propriedades para a camada de vegetação	43
Quadro 10 - Características de cada camada	48
Quadro 11 - Características superficiais de cada camada	49
Quadro 12 - Resumo dos casos simulados e indicação da situação a que se referem	56
Quadro 13 - Resultados obtidos para Évora durante a semana mais fria do Inverno	57
Quadro 14 - Resultados obtidos para Bragança durante a semana mais fria do Inverno	58
Quadro 15 - Resultados obtidos para Porto de Mós durante a semana mais fria do Inverno.....	58
Quadro 16 - Resultados dos GHD obtidos para Évora durante a semana mais fria do Inverno	59
Quadro 17 - Resultados dos GHD obtidos para Bragança durante a semana mais fria do Inverno	59
Quadro 18 - Resultados dos GHD obtidos para Porto de Mós durante a semana mais fria do Inverno	61
Quadro 19 - Resultados obtidos para Évora durante a semana mais quente do Verão	62
Quadro 20 - Resultados obtidos para Bragança durante a semana mais quente do Verão	63
Quadro 21 - Resultados obtidos para Porto de Mós durante a semana mais quente do Verão	64
Quadro 22 - Resultados dos GHD obtidos para Évora durante a semana mais quente do Verão	65
Quadro 23 - Resultados dos GHD obtidos para Bragança durante a semana mais quente do Verão	65
Quadro 24 - Resultados dos GHD obtidos para Porto de Mós durante a semana mais quente do Verão	66

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

GHD – graus hora de desconforto [°C]

R – Resistência térmica [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

R_e – Resistência térmica exterior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

R_i – Resistência térmica interior [$\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$]

VGS – “Vertical Greenery System”

LAI – “Leaf Area Index”

PVC – Policloreto de polivinila

UV – Ultravioleta

UHI – “Urban Heat Island”

DEROB – Dynamic Energy Response Of Buildings

DEROB-IUA – Dynamic Energy Response Of Buildings – International Users Association

REH – Regulamento dos Edifícios de Habitação

NPV – “Net Present Value”

IRR – “Internal Rate of Return”

PBP – “Pay Back Period”

Temp. – Temperatura

Int. – Interior

Sup. – Superficial

Fig. – Figura

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

Um problema com cada vez mais relevância é o aumento da temperatura média da Terra (Observatory). Um fator importante para combater este problema é a existência de espaços verdes. Aqui, a indústria da construção tem um efeito significativamente grande, ao remover tais espaços verdes (Francis e Lorimer, 2011), com capacidade de mitigar os efeitos do aquecimento global, por espaços sem capacidade de ajudar a reduzir os efeitos do aquecimento global (Sheweka e Magdy, 2011).

Mas, tem existido esforços para reverter tal situação. Um caso disso é a introdução do conceito “Construção sustentável” que se refere *“à aplicação da sustentabilidade às atividades construtivas, sendo definida como a criação e responsabilidade de gestão do ambiente construído, baseado nos princípios ecológicos e no uso eficiente de recursos”* – retirado de (Pinheiro, 2003). Desta forma, consegue-se conciliar as necessidades dos usuários com os principais problemas ambientais.

Uma consequência disso, foi a implementação de “green roofs” (coberturas verdes). Estas têm vantagens do ponto de vista ambiental, mas também do ponto de vista térmico (Silva, 2002). Portanto, a integração de vegetação em edifícios já tem provas dadas do quanto pode auxiliar construções.

Ora, as coberturas verdes, tal como o nome indica, são aplicadas nas coberturas das construções. Daqui surge a questão se existe a possibilidade e vantagens de aplicar vegetação ao longo da envolvente vertical das construções.

1.2. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo principal desta tese é o de verificar se é vantajoso ou não integrar vegetação no edifício do ponto de vista térmico. Esta integração é aqui estudada sob a forma de vegetação ao longo da(s) fachada(s).

De forma a cumprir este objetivo, foram delineados certos alvos:

- Recolher e estudar, de uma forma geral, vários documentos sobre o tema;
- Ver as várias formas diferentes de integrar a vegetação numa fachada;
- Pormenorizar a pesquisa bibliográfica de forma a recolher as vantagens de ter vegetação integrada com o edifício;
- Das vantagens descobertas, subdividi-las em vantagens do ponto de vista térmico e do ponto de vista geral;
- Recolher casos de campo, de forma a validar as vantagens com resultados reais;

- Escolher o programa de simulação e modelo a simular o mais fidedigno possível, de forma a produzir resultados fiáveis e que estejam de acordo com os observados noutros trabalhos;
- Correr uma simulação de uma habitação unifamiliar, localizada em Portugal, em três zonas distintas, de forma a ver se ocorrem melhorias em termos térmicos devido à integração de vegetação num edifício em Portugal;

1.3. ESTRUTURA DO TEXTO

A presente tese está organizada em 5 capítulos e referências bibliográficas.

- Capítulo 1: Introdução – Capítulo onde se faz uma pequena introdução ao tema, define-se os objetivos a cumprir e como está estruturada a tese;
- Capítulo 2: Estado da arte – História da utilização de vegetação nos edifícios, recolha bibliográfica dos termos usados para descrever as diferentes formas de integrar a vegetação em construções, vantagens da vegetação e bases teóricas para um melhor entendimento do tema;
- Capítulo 3: Simulação – Apresentação de modelos diferentes para a simulação computacional da fachada com vegetação. Escolha de um modelo, seguido da justificação que levou a tal;
- Capítulo 4: Apresentação e discussão de resultados – Tal como referido no título, neste capítulo o autor vai apresentar os resultados obtidos da simulação e irá comentá-los;
- Capítulo 5: Conclusão – Aqui será feito um resumo das principais conclusões obtidas no capítulo anterior e as suas semelhanças com as conclusões de outras literaturas, mencionadas no capítulo 2. Ainda se faz uma referência a possíveis desenvolvimentos futuros deste tema;

2

ESTADO DA ARTE

2.1. HISTÓRIA

Historicamente, a união do edifício com a vegetação dava-se através de práticas ornamentais, arquiteturais e hortícolas. Tais práticas revelavam-se nas fachadas dos edifícios através de plantas trepadeiras aplicadas diretamente nelas ou com suportes de apoio às plantas, sendo que também se revelavam nas coberturas dos edifícios (Francis e Lorimer, 2011).

De acordo com Theodore Osmundson, mencionado em (Sousa, 2012), a primeira referência histórica de jardins construídos pelo Homem, provém das Zígurates da antiga Mesopotâmia (fig. 1). Apesar de não ser um local de habitação, servia de proteção contra o calor e como um marco na cidade.

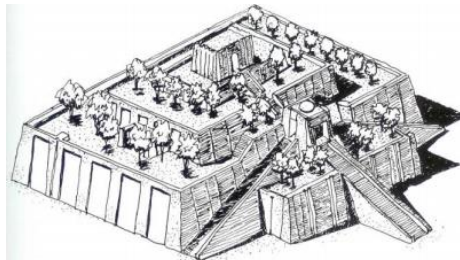


Fig.1 – Zígurate de Nanna (Simões, 2012)

Apesar disso, os Jardins Suspensos da Babilónia (fig. 2), provenientes do Antigo Oriente, são a maior referência em termos de uso de vegetação em edifícios. Mandados erigir por Nebuchadnezzar II, como um presente para a sua esposa, os jardins foram construídos a cerca de 20 metros de altura e concretizavam-se através da diversificação de vegetação nos terraços, irrigados a partir do rio Eufrates (Virtudes).



Fig.2 – Jardins suspensos da Babilónia (Sousa, 2012)

Graças aos Romanos, a integração da Natureza no edifício teve grandes desenvolvimentos, muito devido às técnicas de construção empregues que tinham como resultado as pérgulas (fig. 3), caramanchões e outros trabalhos em treliça (Vasconcelos, 2012).



Fig.3 – Pérgula numa habitação romana (Oliveira, 2014)

Houve este desenvolvimento devido à quantidade de pessoas nas zonas urbanas e à procura de soluções mais confortáveis para o habitat das pessoas.

As habitações romanas (fig. 4) tinham um átrio exposto à radiação solar, onde as pessoas viviam durante o Inverno, sendo que no Verão mudavam-se para uma zona mais fresca chamada de peristilo. Além disso, as habitações estavam projetadas de maneira a aproveitarem o sol durante o Inverno e a tornarem o local mais fresco no Verão através do uso de palas, vegetação e lagos (Gaspar, 2013).

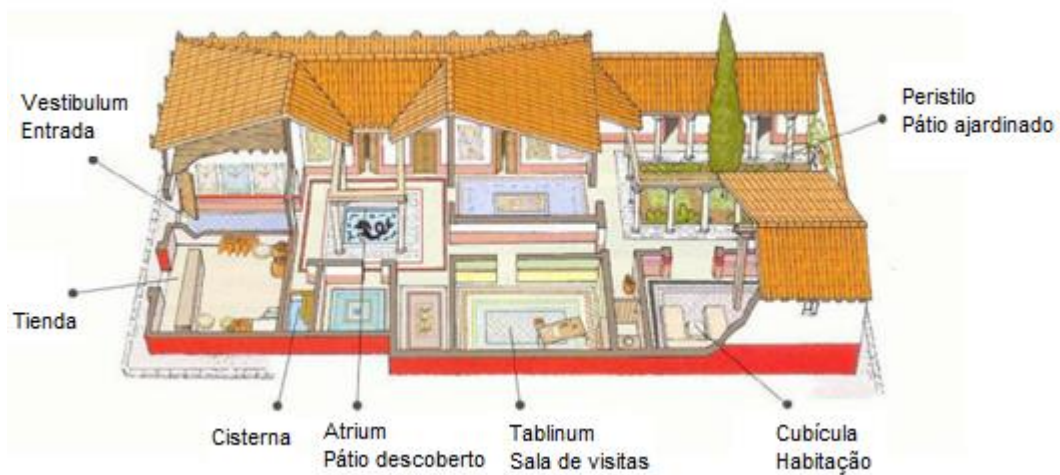


Fig.4 – Organização de uma habitação romana. Adaptado de (Gaspar, 2013)

As plantas mais usadas eram as videiras e as roseiras, por vezes oliveiras, tendo como objetivo o sombreamento, o direcionamento do vento para permitir uma ventilação natural e a delimitação natural de espaços (Mangone e van der Linden, 2014).

Outro tipo de habitação influenciada pelo uso de vegetação, mas a uma escala bem superior, são as “turfhouses” (fig. 5). Presentes na Islândia, estas casas eram feitas com materiais naturais e locais e revestidas com coberturas verdes. Os Viking foram os primeiros construtores deste tipo de casas, devido ao isolamento, proteção, manutenção baixa e fácil instalação que elas proporcionavam (Peck et al., 1999). No século XVIII, são introduzidos vãos em madeira nas “turfhouses”, passando-se a denominar de “burstabær” (Ferreira, 2015).



Fig.5 – Exemplo de “turfhouses” (Ferreira, 2015)

Até à época do Romantismo, a vegetação em edifícios perdeu um pouco o fulgor, sendo que só encontrava a sobrevivência sob a forma de trepadeiras e musgo em ruínas (Vasconcelos, 2012).

Mesmo assim, a vegetação ainda tinha um impacto na sociedade, mas sobre a forma de espaços verdes integrados no espaço urbano, apesar de, normalmente, serem afastados do centro urbano e obras privadas (Sousa, 2012).

Com a industrialização, novos conceitos na área do planeamento urbano surgiram, tal como a integração de espaços verdes na cidade, salientando-se o conceito de cidade-jardim, introduzido por Ebenezer Howard, onde as treliças com plantas trepadeiras e pérgulas voltaram a ter um aspeto relevante (Virtudes). Além disso, o uso de vegetação em varandas tornou-se bastante frequente (Köhler, 2008).

Ainda durante este período, surgem os Jardins Românticos Ingleses de uso público, de que são exemplo o Jardim Stourhead e o Jardim Botânico Real de Kew em Inglaterra ou o Jardim Inglês de Munique na Alemanha (Sousa, 2012).

Na Itália e centro da Europa, o uso de videiras ao longo da fachada das casas tornou-se popular porque não era necessário muito espaço e podia-se produzir vinho. Daí, deu-se a propagação para o cultivo de outras árvores de fruto, porque para além de fornecerem alimento, também forneciam sombra o que tornava a casa mais agradável durante o Verão (Köhler, 2008).

A partir do final do século XIX, dá-se um grande movimento para a vegetação em edifícios devido aos efeitos negativos do crescimento rápido das cidades e a possibilidade da vegetação os reduzir (Ferreira, 2015).

As coberturas verdes encontraram a sua oportunidade a partir de 1960 em países como a Suíça e a Alemanha. A partir de 1980, na Alemanha, a aplicação de “green roofs” aumentou bastante devido aos benefícios apresentados pela legislação e governos municipais (Peck et al., 1999).

Com esta aplicação, deu-se um aumento de conhecimento relativamente ao efeito da vegetação nos edifícios, sendo que grande parte das publicações se encontram em Alemão ou são pouco divulgadas (Wong et al., 2010a).

Para além das coberturas verdes, o jardim vertical também teve a sua oportunidade, devido ao pouco espaço necessário, pois este instala-se nas fachadas de edifícios (Ferreira, 2015).

A Casa Scheu (fig. 6) projetada por Adolf Loos é um marco de referência do século XX relativamente ao uso de vegetação na habitação (Sousa, 2012).



Fig.6 – Casa Scheu projetada por Adolf Loos (Sousa, 2012)

Por volta de 1988, Patrick Blanc cria a parede viva, designada de “mur végétal”, que traz consigo a possibilidade de ter plantas sem ligação direta ao solo (Vasconcelos, 2012).

Exemplos de paredes vivas são o museu Quai Branly em Paris, o Square Vinet em Bordeaux, ou o edifício Caixa Forum em Madrid (fig. 7) (Sousa, 2012).



Fig.7 – Caixa Forum em Madrid (Manso e Castro-Gomes, 2015)

2.2. NOMENCLATURA

Na literatura estudada, foram encontrados inúmeros termos que pretendem transmitir o conceito da integração da vegetação na envolvente vertical de um edifício. De seguida apresenta-se o quadro 1 com esses termos e as referências bibliográficas onde foram aplicadas:

Quadro 1 – Resumo dos termos encontrados e as suas respetivas referências bibliográficas

#	Termo	Referência bibliográfica
1	Coberturas vivas verticais	(Ferreira, 2015)
2	Elementos verticais verdes	(Borga, 2012)
3	“Vegetation walls”	(Mangone e van der Linden, 2014)
4	“Vegetated walls”	(Susorova, Azimi e Stephens, 2014)
5	“Green vertical systems (of buildings)”	(Pérez et al., 2011b); (Pérez et al., 2011a); (Pérez et al., 2014)
6	“Vertical greening” ou “Vertical greening systems”	(Perini et al., 2011); (Cheng, Cheung e Chu, 2010); (Perini e Rosasco, 2013)
7	“Vertical green / vertical garden”	(Ottelé et al., 2011); (Ottelé); (Perini et al., 2013)
8	“VGS – Vertical greenery systems”	(Wong et al., 2010a); (Sheweka e Mohamed, 2012); (Pérez et al.,

		2014); (Wong et al., 2009); Entre outros.
9	“Green wall systems”	(Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010)
10	“Green walls”	(Sheweka e Magdy, 2011); (Mazzali et al., 2013); Entre outros.
11	“Vertical garden”	(Elgizawy, 2016); (Sousa, 2012); Entre outros.

Relativamente à expressão #7, o facto de conter dois termos diferentes provém da utilização que os autores(as) fazem desses termos, sendo que por vezes consideram ambos com o mesmo significado.

“Green façades, green walls, living walls, vertical green and vertical gardens are descriptive terms which are used to refer to all forms of vegetated wall surfaces.” – retirado de (Ottelé). Apesar de considerar todos estes termos como um só, ao contrário de outros autores(as), gostaria de salientar que o sistema de classificação usado por este autor também é diferente dos restantes, pois baseia-se na forma como a vegetação está enraizada.

De referir que apenas alguns autores utilizam um único termo de forma consistente, enquanto que outros variam o uso de termos para expressar a relação da vegetação com o edifício.

Nesta tese, vão-se utilizar dois termos principais para referir a integração da vegetação no edifício: “Green wall”, traduzida por Parede verde e “VGS – Vertical greenery systems”. Sendo que o objetivo do uso de Parede verde é para quando quiser falar de uma forma geral e comum, enquanto que o termo VGS é utilizado para referências mais técnicas e que necessitem de pormenorização. O motivo para tal é apenas uma questão de organização e não implica que o autor considere os outros termos incorretos.

2.3. CARACTERIZAÇÃO DOS VGS

Das várias referências bibliográficas mencionadas, algumas delas fazem uma caracterização completa das várias formas de integrar a vegetação no edifício, diferenciando-as com termos próprios. De seguida apresentam-se algumas dessas caracterizações:

Quadro 2 – Caracterização adaptada de (Manso e Castro-Gomes, 2015)

		Diretas	Tradicionais	
Paredes verdes	Fachadas verdes	Indiretas	Guias contínuas	
			Treliças modulares	
	Paredes vivas	Contínuas	Telas leves	
		Modulares	Tabuleiros	
				Vasos

	Peças cerâmicas
	Sacos flexíveis

Quadro 3 – Caracterização adaptada de (Pérez et al., 2011b)

Sistemas extensivos		Sistemas intensivos
Fachadas verdes	Fachadas verdes tradicionais	
	Fachada verde de dupla pele ou cortina verde	Treliças modulares
		Fios
		Malha
Paredes vivas		Vasos perimétricos
		Painéis
		Feltros geotêxtis

Quadro 4 – Caracterização adaptada de (Elgizawy, 2016)

Jardim vertical	Fachada verde	Sistema de painel de treliça modular
		Sistema de cabo e fio-corda
	Paredes verdes	Sistemas modulares de paredes verdes
		Sistema de tapete vegetal

Outras caracterizações que o autor se inspirou foram encontradas em (Ferreira, 2015) e (Ottelé).

Tal como referido em 2.2, o autor para questões mais técnicas utilizará o termo VGS. Partindo daí e com base nas classificações acima apresentadas, o autor chegou à seguinte caracterização dos diferentes sistemas usados para integrar a vegetação no edifício:

Quadro 5 – Proposta de classificação para os VGS

VGS	Fachadas verdes	Indiretas	Diretas/Tradicionais
			Malha
			Fio
			Treliças modulares

Tapetes vegetais		
Paredes vivas	Modulares	Tabuleiros
		Vasos
		Peças cerâmicas
		Sacos flexíveis

2.3.1. FACHADAS VERDES

As fachadas verdes (fig. 8) são baseadas em plantas trepadeiras ou que permitam desenvolver uma forma de cascata. Plantadas na base da fachada, no topo desta ou em locais intermédios da fachada, estas plantas podem demorar entre 3 a 5 anos, tipicamente, para cobrir por completo uma fachada.

É importante que estas plantas tenham um apoio que permita o seu desenvolvimento completo ao longo da fachada. Este apoio pode ser natural, ou seja, plantas que por si só se conseguem fixar à fachada ou pode ser um apoio proporcionado por mão humana, tal como treliças modulares, cabos ou malhas (Greenroofs).



Fig.8 – Exemplo de uma fachada verde (Köhler, 2008)

2.3.1.1. Fachadas verdes diretas

Fachadas verdes diretas (fig. 9), ou tradicionais, são sistemas que utilizam unicamente as propriedades naturais das plantas trepadeiras, quer sejam caducas ou persistentes, para permitir o recobrimento total ou parcial de uma fachada, estando em contacto direto com esta e com o solo (Perini et al., 2011).

Este recobrimento pode ser parcial, pois este tipo de plantas trepadeiras pode crescer entre 5 a 25 metros, dependendo da espécie. Além disso, pode demorar alguns anos para cobrir por completo uma fachada, sendo que sem manutenção, a vegetação pode-se tornar pesada e o risco de cair aumentar (Perini, 2011).



Fig.9 – Exemplo de uma fachada verde direta (Pérez et al., 2014)

Segundo (Sousa, 2012), as plantas trepadeiras possuem raízes aéreas ou ventosas que lhes dão as tais características naturais de auto-apego, logo não precisam de sistemas de suporte extra. Para uma propagação mais eficiente destas plantas, a superfície da fachada deve ter propriedades rugosas e deve-se evitar ao máximo superfícies lisas.

Apesar de ser uma solução barata para cobrir fachadas, o facto de estas plantas estarem em contacto direto com a fachada e terem raízes ventosas, vai implicar custos de manutenção mais elevados e dificuldades para realizar as manutenções (Greenroofs).

2.3.1.2. Fachadas verdes indiretas

Fachadas verdes indiretas (fig. 10) utilizam sistemas de apoio (malha, cabos e treliças modulares) ao crescimento das plantas trepadeiras, quer sejam caducas ou persistentes. Estas plantas podem ter um contacto direto com a terra ou um contacto menos direto, ou seja, estão plantadas em caixas de substrato (sendo que estas albergam o substrato) (Perini e Rosasco, 2013).

As caixas de substrato, por vezes denominadas de “planter boxes” (Perini et al., 2013), podem-se localizar na margem das fachadas, das coberturas, ou em locais intermédios da fachada. Estas caixas não têm muito espaço, daí que seja necessário limitar o crescimento das plantas. Desta forma, podem existir várias caixas ao longo da fachada para permitir o seu recobrimento completo (Ottelé).



Fig.10 – Exemplo de uma fachada verde indireta (Manso e Castro-Gomes, 2015)

Os sistemas de apoio ao crescimento da vegetação estão fixados de uma forma mais sólida à fachada, logo conseguem aguentar o peso da vegetação e aumentar a resistência mecânica do sistema todo (Manso e Castro-Gomes, 2015). Além disso, também têm uma função de impedir o contacto direto das plantas com a fachada, sendo que é criado um espaço de ar entre a fachada e a vegetação (Vasconcelos, 2012).

Os materiais usados nestas fachadas indiretas são variados, sendo que aço (aço revestido, aço inoxidável, aço galvanizado), madeira, plástico e alumínio são alguns deles (Perini, 2011).

Tal como referido, existem três tipos de sistemas de apoio para as fachadas verdes indiretas:

- Rede

Este sistema indireto é bastante usado para plantas de crescimento lento, daí que seja constituído por cabos de aço conectados através de abraçadeiras transversais de maneira a criar espaços reduzidos (fig. 11) (Timur e Karaca, 2013).

Os cabos de aço utilizados são bastante flexíveis, mas resistentes ao mesmo tempo, o que permite uma maior variedade de aplicações em termos de design (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010). Esta flexibilidade transmite-se numa estrutura leve fixada à fachada ou à estrutura do edifício (Pérez et al., 2014).



Fig.11 – Exemplo de um sistema de rede (Ferreira, 2015)

- Cabos

Este tipo de sistema é constituído por uma série de fios ou cabos de aço resistentes, um sistema de fixação e equipamento suplementar (fig. 12) (Timur e Karaca, 2013). Apesar de ainda ter um bom número de elementos envolvidos, é um sistema de fácil instalação (Sousa, 2012). Estas estruturas podem ser fixadas ao edifício ou isoladamente e normalmente tratam-se de estruturas leves (Ferreira, 2015).

É um sistema usado para guiar plantas trepadeiras de crescimento rápido e com folhagem densa (Timur e Karaca, 2013). Como os cabos são de um diâmetro reduzido, dispostos de forma a ser fácil para as plantas treparem e flexíveis, isto permite que as plantas tenham um maior destaque e uma maior facilidade de desenvolvimento (Sousa, 2012).

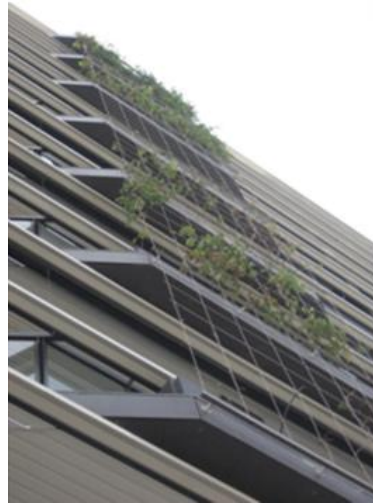


Fig.12 – Exemplo de um sistema de cabos (Pérez et al., 2014)

- Treliças modulares

Tal como o nome indica, este sistema é composto por módulos rígidos (Manso e Castro-Gomes, 2015), tridimensionais, feitos de arame de aço galvanizado revestido e soldado que suporta a vegetação (Vasconcelos, 2012). Dada a rigidez destes módulos, estruturas verdes independentes e extensões entre estruturas podem ser criadas (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010).



Fig.13 – Exemplo de um sistema de treliças modulares (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010)

O efeito tridimensional é introduzido por um painel superficial e em profundidade (fig. 13), assim como com as formas que os painéis podem tomar quando são empilhados (fig. 14). Estes painéis são leves e dado o seu desenho, permitem uma melhor manutenção e conservação da fachada do edifício, pois não permitem o contacto direto da vegetação com a fachada (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010).



Fig.14 – Exemplo de um sistema de treliças modulares personalizado (Timur e Karaca, 2013)

2.3.2. PAREDES VIVAS

As paredes vivas (fig. 15) podem ser constituídas por painéis modulares previamente plantados com vegetação ou não, ou por tapetes vegetais. De qualquer forma, são sistemas instalados verticalmente na fachada ou num suporte e que não dependem de espaço ao nível do chão para as plantas se enraizarem, pois já têm integrado o próprio substrato, quer este seja solo ou outro meio de crescimento artificial baseado na cultura hidropónica (Köhler, 2008).

A cultura hidropónica utiliza soluções nutritivas equilibradas para permitir o crescimento das plantas (Perini, 2011). Estas plantas, normalmente de pequeno porte, são variadas e por vezes não estão habituadas ao crescimento em superfícies verticais (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010).

Estes dois fatores, tornam a manutenção do sistema de paredes vivas complexo, mas permite uma esteticidade superior aos sistemas mencionados anteriormente (Timur e Karaca, 2013).

Os tapetes vegetais são construídos no local e à base de mantas de feltro ou outro material. Já os painéis modulares, são pré-fabricados e de uma grande variedade de materiais (Sousa, 2012). Ambos permitem um recobrimento rápido e versátil. O sistema base construtivo para ambos é composto por uma estrutura metálica, uma camada de policloreto de polivinila (PVC) e uma caixa de ar (Manso e Castro-Gomes, 2015).



Fig.15 – Exemplo de uma parede viva (Ottelé)

2.3.2.1. Tapetes vegetais

Este sistema usa uma membrana de impermeabilização (PVC), fixada à fachada através de perfis metálicos, ficando afastada desta (Borga, 2012). Desta forma, a fachada é protegida contra os elevados teores de humidade (Manso e Castro-Gomes, 2015). Após esta membrana resistente à água, denominada de painel base, segue-se a instalação, com o auxílio de agramos (Silva, 2002), de duas membranas permeáveis, flexíveis e resistentes ao enraizamento (Manso e Castro-Gomes, 2015). É nestas duas membranas que se procede à plantação individual da vegetação através de recortes que servem de bolsas (Silva, 2002). Estas membranas podem ser de vários materiais (espuma, perlite, lãs minerais e geotêxteis), sendo o mais referenciado o feltro (Kmiec, 2014).

As membranas onde a vegetação é plantada são o substituto do substrato, daí que seja necessário um sistema de rega constante e complexo para fornecer alimento às plantas (Sousa, 2012). Este sistema de rega é feito do topo para a base (Elgizawy, 2016). Em contra-partida a esta desvantagem, temos a possibilidade de variar as espécies de plantas (Sousa, 2012).

Em (Silva, 2002) refere-se que *“A nível mundial já existem métodos mais desenvolvidos, todavia a base do processo construtivo é idêntica.”*

O sistema mais referenciado é da autoria de Patrick Blanc, “Mur Végétal” (fig. 16), dado que este foi o pioneiro neste método (Vasconcelos, 2012).



Fig.16 – Exemplo de um tapete vegetal da autoria de Patrick Blanc (Blanc, 2008)

2.3.2.2. Modulares

As paredes vivas modulares (fig. 17) são elementos com dimensões específicas, normalmente têm uma forma quadrangular ou retangular, e contêm determinados componentes que suportam o substrato. Estes elementos geralmente são suportados por uma estrutura complementar fixada à fachada (Elgizawy, 2016).

O substrato usado é habitualmente constituído por compostos orgânicos ou não orgânicos ou inclui uma camada de substrato inorgânico, usualmente espuma, para reduzir o peso do sistema todo. Além disso, material granular é adicionado para permitir uma boa capacidade de retenção da água (Manso e Castro-Gomes, 2015).

O facto de serem modulares e pré-germinados permite uma instalação não tão qualificada e rápida, sendo que se vê resultados de forma instantânea (Vasconcelos, 2012). Aparecem no mercado sob várias formas

(tabuleiros, vasos, peças cerâmicas, sacos flexíveis, etc) (Manso e Castro-Gomes, 2015) e vários materiais (plástico, PVC, alumínio, cerâmica, etc) (Sousa, 2012).



Fig.17 – Exemplo de um módulo de uma parede viva modular (Blanc, 2008)

- Tabuleiros

Os tabuleiros (fig. 18) normalmente são recipientes rígidos feitos de materiais leves como o plástico, alumínio, aço inox ou aço galvanizado. Como são parte de um sistema modular, estes são ligados entre si, de forma a existir continuidade entre os tabuleiros todos.

Uma armação é fixada à fachada, na qual os tabuleiros vão ser montados. A armação pode conter ganchos ou suportes de montagem, onde os tabuleiros são instalados e suportados. Além disso, o sistema de tabuleiros pode ainda ter uma cobertura frontal de maneira a evitar a queda da vegetação (Manso e Castro-Gomes, 2015).



Fig.18 – Exemplo de uma parede viva modular formada por tabuleiros (Perini et al., 2011)

- Vasos

Este tipo de sistema não requer uma qualificação técnica por parte da pessoa, sendo que é bastante fácil de executar e daí que permita várias abordagens. Devido às diferentes abordagens, não existe um método próprio a seguir. Desde que se garanta o funcionamento correto do sistema todo, desde a parte estrutural até ao sistema de rega, este pode ser executado livremente pelo autor da construção (Silva, 2002).

Em (Manso e Castro-Gomes, 2015) refere-se ainda que tal como os tabuleiros, os vasos também são suportados por uma estrutura vertical e/ou horizontal instalada na fachada (fig. 19). Tal estrutura também pode conter ganchos ou suportes de montagem onde os vasos serão instalados.



Fig.19 – Exemplo de uma parede viva modular formada por vasos (Blaze)

- Peças cerâmicas

Sistema modular feito de elementos cerâmicos que albergam a vegetação. Este sistema ressalta a função modular, pois tem um aspeto visual forte tal como se pode ver pela figura 20.

Além de funcionarem como um VGS, também podem funcionar como um revestimento cerâmico para a fachada (Manso e Castro-Gomes, 2015).



Fig.20 – Exemplo de uma parede viva modular formada por peças cerâmicas (Mischner)

- Sacos flexíveis

Sacos produzidos em material leve, o que permite a sua instalação em superfícies curvas, inclinadas ou com formas peculiares (Manso e Castro-Gomes, 2015).



Fig.21 – Exemplo de uma parede viva modular formada por sacos flexíveis (Walls)

2.4. INFLUÊNCIA DA VEGETAÇÃO DO PONTO DE VISTA TÉRMICO

Essencialmente, existem quatro aspetos em que a presença de vegetação tem influência do ponto de vista das condições térmicas (Pérez et al., 2011a):

- Sombreamento

Este efeito está obviamente relacionado com a radiação solar, sendo que os VGS podem impedir a incidência direta da radiação solar quando esta é indesejável, tanto nas paredes como nos vãos envidraçados, dependendo do tipo de sistema.

- Arrefecimento

Fator ligado ao processo natural das plantas, evapotranspiração: a radiação solar absorvida pela planta é transformada em calor latente que converte a água líquida em gasosa, resultando em temperaturas mais baixas, tanto para a folhagem como para o ar à volta da planta, e numa humidade mais alta (Sheweka e Magdy, 2011).

- Isolamento

Capacidade de isolar resultante da vegetação e/ou do sistema de apoio às plantas.

- Barreira contra o vento

Capacidade da vegetação e/ou do sistema de apoio desta, contra o efeito do vento.

Estes quatro efeitos muitas vezes estão relacionados entre si, pois afetam fatores individuais (como a temperatura, humidade, etc) que são comuns a todos eles e não podem ser relacionados a apenas um destes quatro aspetos. Por exemplo, quando se fala em redução de temperatura, tanto o sombreamento como a evapotranspiração são responsáveis por isso (Wong et al., 2010a).

2.4.1. SOMBREAMENTO

Uma fachada coberta por vegetação é preferível a uma fachada sem vegetação, sob o ponto de vista de radiação solar, pois a vegetação traz a capacidade de absorver, refletir e transmitir radiação solar de forma mais favorável (Sheweka e Mohamed, 2012). Os valores absorvidos ou refletidos pela vegetação podem chegar a valores de 40% até 80%, no verão, dependendo do tipo de plantas e VGS usados (Wong et al., 2010a).

Devido a estas ações, a temperatura máxima atingida por um edifício pode ser reduzida, verificando-se uma redução em termos de flutuações diárias de temperatura (Sheweka e Mohamed, 2012). Para além disso, a folhagem das plantas pode ser uma opção alternativa ao uso de dispositivos de sombreamento (palas, estores, etc), pois a temperatura superficial de uma planta é sempre menor que a temperatura superficial de tais dispositivos (Mangone e van der Linden, 2014).

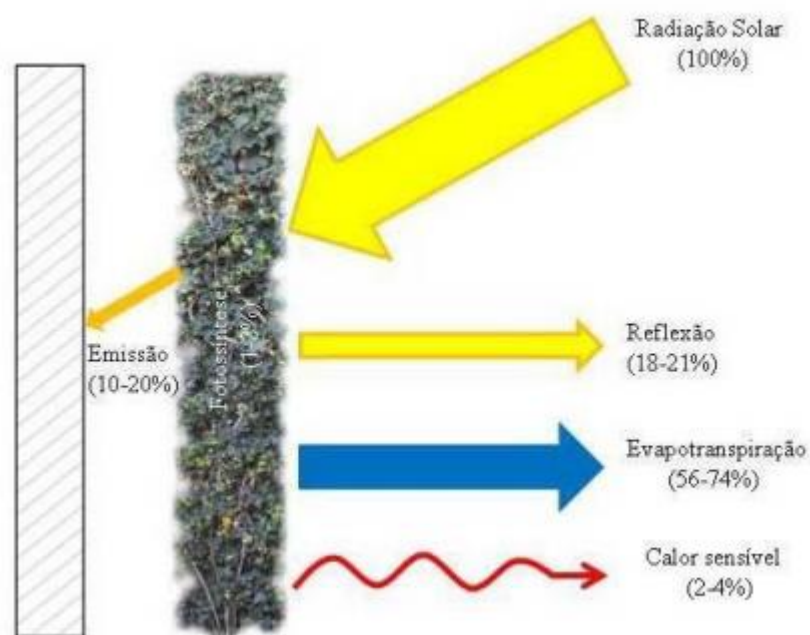


Fig.22 – Distribuição da radiação e do calor numa parede verde coberta por *Hedera Helix* (Vasconcelos, 2012)

Ao absorver a radiação, a vegetação permite uma temperatura superficial da fachada mais baixa, o que resulta numa temperatura interior mais baixa. Além disso, permite regular a humidade durante as noites de verão e no inverno conserva mais energia calorífica (Peck et al., 1999).

Esta proteção relativa à radiação traz benefícios ao edifício quanto à sua manutenção e preservação. Elementos sensíveis à radiação ultravioleta (UV), como os revestimentos e pinturas, não são tão afetados como seriam em casos sem vegetação. Além do mais, as cargas térmicas a que os vários elementos estão sujeitos, serão reduzidas (Ottelé).

Não é só a vegetação por si só que oferece benefícios, mas também o sistema de suporte, caso exista. Sistemas modulares robustos, que contenham materiais com coeficientes de condutibilidade térmica baixos e sistemas onde existam caixas-de-ar entre a fachada e a vegetação permitem a redução da radiação que atinge a fachada (Silva, 2002).

O efeito de sombreamento tem uma relação forte com a densidade da folhagem e o seu rácio de cobertura. Quanto maiores forem estas duas características, maiores serão as vantagens devido ao sombreamento (Raji, Tenpierik e van den Dobbelsteen, 2015).

LAI (“*Leaf Area Index*”), é definido como a área de folhas por unidade de área de solo (Wong et al., 2009). Sendo que quanto maior for o valor de LAI, melhor se comportarão os diferentes VGS, pois a transmissão solar será menor (Safikhani et al., 2014). Este fator é aqui mencionado porque alguns autores ((Raji, Tenpierik e van den Dobbelsteen, 2015), (Safikhani et al., 2014) e (Hunter et al., 2014), por exemplo) usam-no para caracterizar a eficácia dos diferentes VGS em termos de sombreamento.

2.4.2. ARREFECIMENTO

De acordo com (Silva, 2002), o arrefecimento por evaporação é denominado por evapotranspiração. Este processo, complexo e com muitas variáveis, requer energia, sendo que esta é fornecida pela radiação (Sheweka e Mohamed, 2012). Daí que seja recomendável aplicar os VGS em zonas com radiação solar elevada para que ocorra a evapotranspiração (Silva, 2002).

A evapotranspiração converte a radiação solar em calor latente, sendo que este não é prejudicial para o aumento de temperatura do edifício (Sheweka e Mohamed, 2012).

O tipo de planta, a sua exposição e condições climáticas (Jim e He, 2011) influenciam o processo de arrefecimento. Por exemplo, o vento e ambientes secos podem aumentar a evapotranspiração das plantas (Pérez et al., 2011b).

Este efeito não ocorre unicamente nas plantas, mas também no substrato delas, daí que seja importante manter o substrato húmido, especialmente em paredes vivas, pois podem usar substratos não naturais. Aliás, o efeito de arrefecimento está associado com a área coberta por vegetação, assim como com o grau de humidade no substrato (Pérez et al., 2011b).

Segundo (Sheweka e Mohamed, 2012), a evapotranspiração é o benefício ambiental mais importante que as paredes verdes podem oferecer em zonas urbanas, pois reduzem a temperatura superficial das fachadas e melhoram a gestão da água da chuva.

2.4.3. ISOLAMENTO

A perda de calor através de fachadas pode ser reduzida com a introdução de uma camada de vegetação e/ou de uma caixa de ar, sendo que ambas funcionam como um reforço da resistência térmica da fachada (Perini et al., 2013).

A função do reforço de isolamento é a de reduzir as perdas de calor por transmissão. Durante o verão diminui a transmissão de calor do exterior para o interior e durante o inverno reduz a transmissão de calor do interior para o exterior (Raji, Tenpierik e van den Dobbelsteen, 2015).

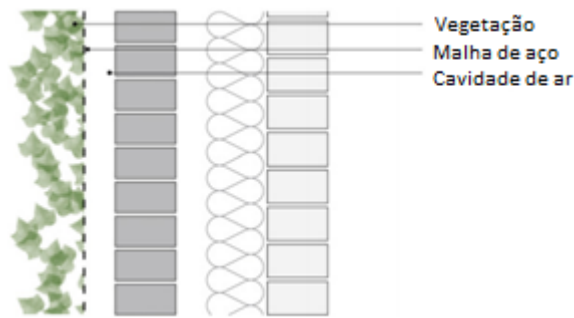


Fig.23 – Exemplo de um corte de uma fachada verde indireta (Ottelé et al., 2011)

A capacidade de isolamento de uma fachada é aumentada com a combinação de uma camada de vegetação e uma caixa de ar. Além disso, quanto mais espessa e densa for a camada de vegetação, melhor funcionará em termos de isolamento (Timur e Karaca, 2013).

Segundo (Peck et al., 1999), a necessidade de aplicar materiais superficiais ou revestimentos pode ser evitada com o uso de paredes verdes, assim como a falta de espaço introduzida por paredes mais espessas. Refere ainda que o facto de existirem plantas caducas e perenes pode ser vantajoso em termos de estações, isto é, se tivermos preocupações de perdas de calor durante o inverno, devemos optar por plantas perenes, no entanto pode ser vantajoso escolher plantas caducas, pois permitiriam o aquecimento das fachadas durante o inverno, através da exposição solar.

O valor do isolamento dos VGS é influenciado não só pela espessura e densidade da vegetação, mas também pelo tipo de material usado como substrato (isto é mais relevante para as paredes vivas) (Perini et al., 2013).

Em (Mangone e van der Linden, 2014) existe uma referência que sugere uma camada de ar ideal num intervalo de 40 a 60 milímetros para obter um efeito de isolamento muito bom. Além disso, camadas de ar superiores a 20 centímetros foram consideradas como ineficazes em termos de isolamento.

2.4.4. BARREIRA CONTRA O VENTO

Uma maneira de proteger termicamente um edifício é o de bloquear o vento (Silva, 2002). As paredes verdes são bastante eficazes neste aspeto, sendo que podem reduzir as exigências de aquecimento (Sheweka e Mohamed, 2012).

A capacidade de bloquear o vento pela camada de vegetação depende das suas dimensões e folhagem. Mais especificamente, da densidade e penetrabilidade da folhagem. Outros fatores que afetam o sucesso do bloqueio do vento são a orientação da fachada, a direção e velocidade do vento.

É necessário ter precaução durante o verão para não obstruir a ventilação do interior do edifício e durante o inverno para controlar essa ventilação (Pérez et al., 2011b).

2.5. EXEMPLOS DE CASOS DE ESTUDO

2.5.1. EXEMPLO 1

Referência bibliográfica: (Antonyová, Antony e Korjenic, 2017)

Aspeto(s) térmico(s) em análise: Sombreamento

Condições:

- Estudo de um caso real
- Localização: 49° N, 286 m acima do nível do mar
- Orientação da fachada: Sul
- VGS: Fachada verde direta
- Vegetação usada: Vinha com 400mm de espessura
- Tempo de medições: 1 mês

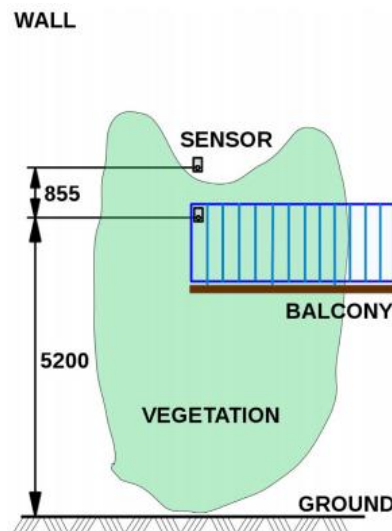


Fig.24 – Fachada onde a vegetação está aplicada, juntamente com a localização dos sensores (Antonyová, Antony e Korjenic, 2017)

Conclusões:

Foram utilizados dois sensores, estrategicamente colocados, para se obter leituras de temperaturas do ar e humidades relativas da fachada com vegetação e da fachada sem vegetação.

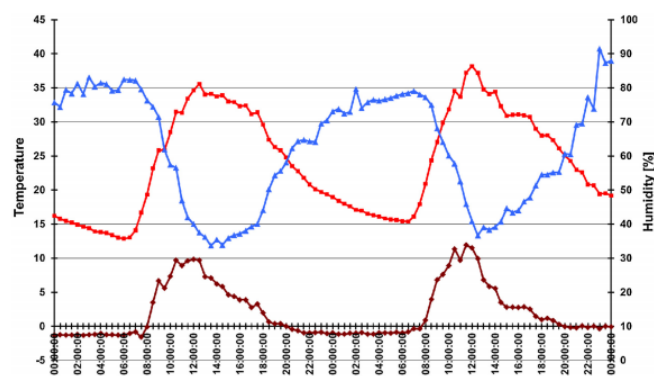


Fig.25 – Exemplo de uma medição da temperatura do ar e humidade relativa entre a vegetação e a fachada. A azul temos a humidade relativa, a vermelho a temperatura do ar e a castanha as diferenças de temperatura (Antonyová, Antony e Korjenic, 2017)

Na fachada em estudo, existe ainda uma varanda coberta pela vegetação, a qual permite o sombreamento das fachadas, o que por sua vez melhora o clima interior da casa durante o verão.

As condições entre a fachada e a vegetação não demonstraram grandes diferenças em relação à humidade relativa e temperatura quando comparadas com a fachada sem vegetação. Além disso, a fachada coberta com vegetação ajudou a conservar o revestimento.

2.5.2. EXEMPLO 2

Referência bibliográfica: (Susorova, Azimi e Stephens, 2014)

Aspeto(s) térmico(s) em análise: Sombreamento e barreira contra o vento

Condições:

- Estudo de um caso real
- Localização: Campus da Universidade de Chicago, Illinois, E.U.A.
- Orientação das fachadas: Norte, Este, Oeste e Sul (fig. 26)
- VGS: Fachada verde direta
- Vegetação usada: “Boston Ivy” (*Parthenocissus tricuspidata*) com 20 cm de espessura e um LAI = 2
- Tempo de medições: Verão

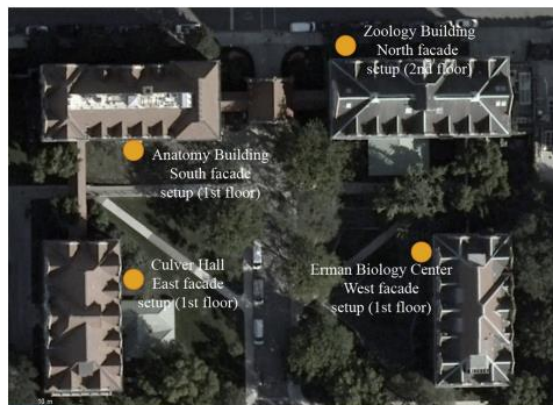


Fig.26 – Localização das fachadas estudadas (Susorova, Azimi e Stephens, 2014)



Fig.27 – Locais de cada fachada diferente, onde se realizaram as medições. Imagem retirada de (Susorova, Azimi e Stephens, 2014)

Conclusões:

As temperaturas superficiais exteriores das fachadas imediatamente por trás da vegetação foram em geral mais baixas do que as temperaturas superficiais exteriores das fachadas sem vegetação. Na fachada Este, mediu-se uma redução horária máxima de 11 °C.

As temperaturas exteriores das fachadas com vegetação foram mais altas durante os períodos noturnos, possivelmente devido ao impedimento do arrefecimento da fachada por ondas longas e/ou convecção oferecido pela camada de vegetação.

As maiores reduções de temperatura, nas fachadas com vegetação, deram-se com o pico de exposição de radiação solar. A maior redução de temperatura deu-se nas fachadas com orientação Este e Oeste, as quais são as mais expostas a radiações solares altas.

A camada de vegetação também afetou o microclima próximo das fachadas ao reduzir a temperatura exterior. Reduções de 0,8 – 2,1 °C foram medidas na proximidade das fachadas com vegetação. Além disso, flutuações nas temperaturas, próximas das camadas de vegetação, foram reduzidas (18 a 53 °C reduziu para 19,3 a 45, 5°C). Estes efeitos foram mais pronunciados quando o nível de radiação solar estava alto.

Relativamente à humidade relativa, observou-se um aumento médio de 2 a 4% em todas as diferentes orientações e uma redução em termos de flutuações. Apesar do aumento de humidade relativa perto das fachadas, este tem como objetivo a redução da temperatura e não tanto de alterar a massa de vapor de água presente no ar.

Em termos de velocidade do vento, esta foi reduzida perto das fachadas, especialmente nas fachadas Este e Oeste. Isto pode levar a uma infiltração de ar no edifício mais baixa.

2.5.3. EXEMPLO 3

Referência bibliográfica: (Pérez et al., 2011b)

Aspeto(s) térmico(s) em análise: Sombreamento, arrefecimento e barreira contra o vento

Condições:

- Estudo de um caso real
- Localização: Golmés, Lérida, Espanha
- Orientação das fachadas: Noroeste, Sudoeste e Sudeste
- VGS: Fachada verde indireta – Trelças modulares (fig. 28)
- Vegetação usada: “Wisteria sinensis” com uma cobertura de 62% da fachada
- Tempo de medições: Abril de 2009 até Setembro de 2009



Fig.28 – Habitação em estudo e o correspondente VGS aplicado (Pérez et al., 2011b)

Conclusões:

Em termos de temperatura da superfície da fachada sem sombreamento, os valores desta eram superiores, em média 5,5 °C, aos valores da temperatura superficial da fachada com sombreamento. Esta diferença atingiu um máximo de 17,62 °C na fachada Noroeste durante o mês de setembro.

Observou-se um aumento da humidade relativa, no espaço entre as fachadas e a camada de vegetação, nos meses de junho e julho, correspondentes ao tempo onde a folhagem da vegetação era máxima. É de referir que o VGS nesta experiência estava afastado de 0,8 m das fachadas Noroeste e Sudoeste e de 1,5 m da fachada Sudeste.

A combinação da redução de temperatura e humidade relativa, no espaço intermédio, confirma que este VGS atua como uma barreira ao vento e demonstra o efeito da evapotranspiração das plantas, assim como a eficácia da camada de vegetação contra a radiação solar.

2.5.4. EXEMPLO 4

Referência bibliográfica: (Perini et al., 2011)

Aspeto(s) térmico(s) em análise: Barreira contra o vento, isolamento e sombreamento

Condições:

- Estudo de um caso real
- Localização: Países Baixos, Holanda do Sul
- Orientação das fachadas: Noroeste, Nordeste e Oeste
- VGS: Fachada verde direta, Fachada verde indireta – malha e Parede viva – modular (fig. 29)
- Vegetação usada: “Hedera helix” para as fachadas verdes (espessuras de 10 e 20 cm, aproximadamente) e vegetação variada para a parede viva
- Tempo de medições: Setembro de 2010 até final de Outubro de 2010

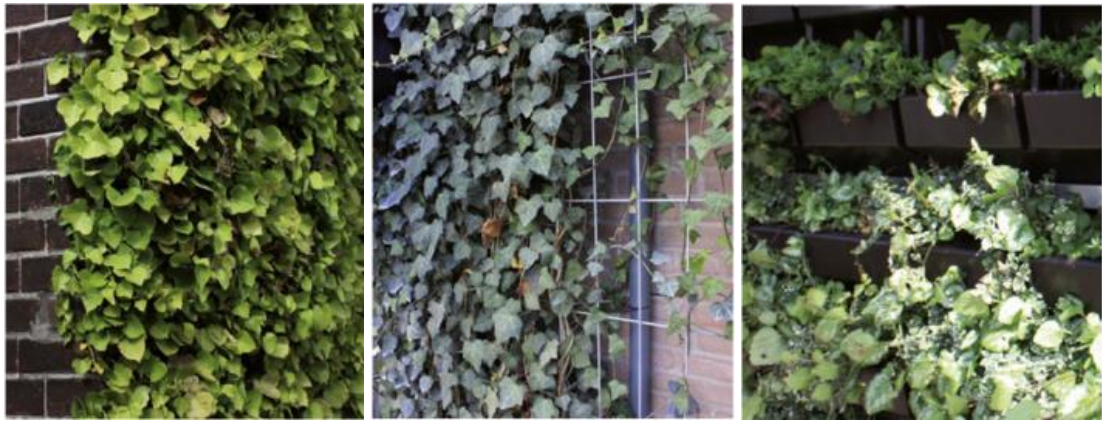


Fig.29 – Fachada verde direta, fachada verde indireta – malha e parede viva – modular (Da esquerda para a direita) (Perini et al., 2011)

Conclusões:

Reduções na velocidade do vento no interior da camada de vegetação observadas em todos os VGS. Na fachada verde indireta, a velocidade do vento volta a aumentar na caixa de ar existente entre a fachada e a camada de vegetação.

Os VGS introduzem uma melhoria de propriedades térmicas, pois a sua capacidade de isolar é dependente e afetada pela velocidade do vento. Dado que esta é reduzida, a capacidade de isolar é melhor.

A resistência térmica do edifício é melhorada, pois a velocidade do ar exterior, nas camadas de vegetação, é mais baixa que 0,2 m/s, logo podemos igualar a resistência térmica exterior (R_e) à resistência térmica interior (R_i), o que se traduz numa resistência térmica superior.

A exceção ao referido anteriormente é a fachada verde indireta, pois esta tem uma caixa de ar de 20 cm de espessura entre a fachada e a camada de vegetação que não funciona como uma camada de ar estagnada, logo não podemos assumir $R_e = R_i$. A espessura ótima para uma caixa de ar está entre os 40 e 60 mm.

Os três VGS aplicados também são eficazes a bloquearem a radiação solar, pois mediu-se uma redução de temperaturas superficiais sob as camadas com vegetação.

2.5.5. EXEMPLO 5

Referência bibliográfica: (Mazzali et al., 2013)

Parâmetro(s) térmico(s) em análise: Sombreamento e arrefecimento

Condições:

- Estudo de um caso real
- Localização: Lonigo, Veneza e Pisa. Todas em Itália
- Orientação das fachadas: Sudoeste e Este
- VGS: Duas paredes vivas – tapetes e uma parede viva modular (fig. 30)
- Vegetação usada: “*Juniperus communis* *Sedum spurium*, *Geranium sanguineum*, *Geranium Johnson’s blue*, *Anemone sp.*, *Viva minor*, *Parthenocissus tricuspidata*, *Heuchera micrantha*”

Palace Purple, *Salvia nemorosa*, *Lonicera pileata*, *Pittosporum tobira*, *Rosmarinus officinalis*, *Alchemilla mollis*, *Bergenia cordifolia*, *Oenothera missouriensis*, *Plumbago capensis*. *Zoysia*. *Zoysia matrella* ‘Zeon’, *Zoysia tenuifolia*, *Zoysia japonica* ‘El Toro’, *Cynodon dactylon* X *Cynodon trasvalensis* ‘Patriot’ *Stenotaphrum secundatum*, *Dicondra*, *Paspalum vaginatum*, *Cynodon transvalensis*”

- Tempo de medições: 6 Julho 2011 até 21 Setembro 2011; 5 Julho 2012 até segunda metade de Setembro; 10 Setembro 2009 até 1 Outubro 2009



Fig.30 – Paredes vivas – tapetes (imagem da esquerda e central) e parede viva modular (imagem à direita) estudadas (Mazzali et al., 2013)

Conclusões:

Durante o dia, as temperaturas superficiais dos VGS são mais baixas do que as temperaturas superficiais das fachadas sem vegetação. Diferenças de 12 °C até 20 °C são registadas.

No entanto, durante a noite, as fachadas sem vegetação arrefecem mais rapidamente. O motivo para tal é devido ao tipo de VGS empregue, que impede um arrefecimento da fachada.

O clima exterior afeta a eficácia destes sistemas, pois durante dias nublados foram registadas diferenças de temperaturas menores.

Entre as fachadas com vegetação e as sem vegetação, existe uma grande diferença em termos de fluxo de calor. O grande efeito de isolamento dos diferentes VGS e a evapotranspiração, que é responsável por remover 100 W/m² de calor da superfície da parede, são os responsáveis por tal situação.

2.5.6. EXEMPLO 6

Referência bibliográfica: (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010)

Aspeto(s) térmico(s) em análise: Sombreamento e isolamento

Condições:

- Simulação
- Localização: Grécia, Salonica
- Orientação das fachadas: Norte, Este, Oeste e Sul
- VGS: Fachada verde direta
- Vegetação usada: “*Parthenocissus tricuspidata*” com uma espessura de 25 cm
- Tempo de medições: Verão

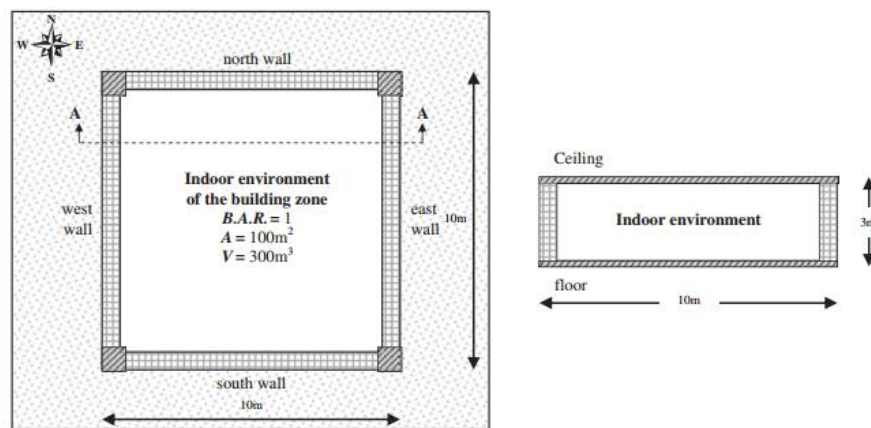


Fig.31 – Edifício em estudo. Retirado de (Kontoleon e Eumorfopoulou, 2010)

Conclusões:

Variações entre temperaturas exteriores e interiores são reduzidas nas fachadas com vegetação quando comparadas com as fachadas sem vegetação.

Com o aumento da densidade da vegetação, os efeitos positivos também crescem. Estes efeitos positivos são mais acentuados para as orientações Este e Oeste.

Dependendo do tipo de parede, o uso de uma camada de vegetação pode aumentar a eficácia da capacidade de isolamento da parede.

A incorporação correta da vegetação no exterior do edifício leva a ganhos energéticos, pois conserva calor, e regula o microambiente em torno do edifício ao neutralizar o impacto solar.

2.5.7. EXEMPLO 7

Referência bibliográfica: (Cheng, Cheung e Chu, 2010)

Aspeto(s) térmico(s) em análise: Arrefecimento e sombreamento

Condições:

- Estudo de um caso real
- Localização: Hong Kong
- Orientação das fachadas: Sudoeste
- VGS: Parede viva
- Vegetação usada: “*Zoysia japonica*”
- Tempo de medições: Setembro e Outubro de 2008

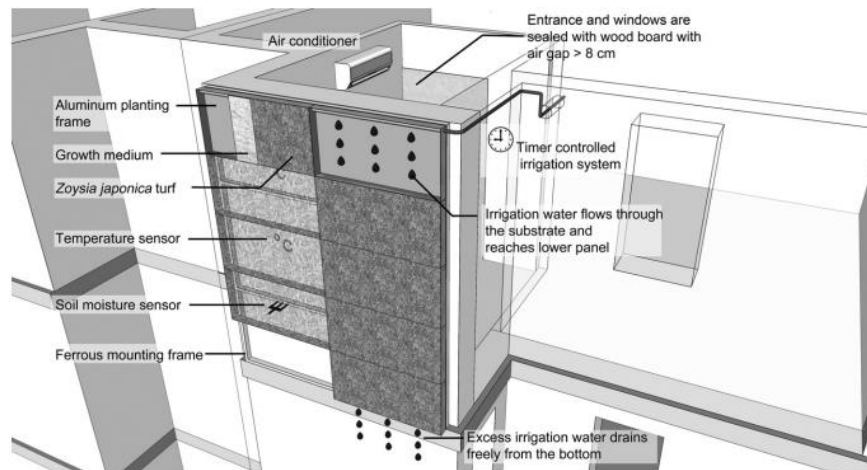


Fig.32 – Representação visual do VGS aplicado. Retirado de (Cheng, Cheung e Chu, 2010)

Conclusões:

Observou-se que quanto mais quentes eram os dias, mais eficaz era o efeito de arrefecimento por parte do VGS. Este efeito é mais pronunciado quando se mantém a camada com vegetação com uma boa manutenção e rega.

O fluxo de calor é mais baixo na fachada com vegetação quando comparada com a fachada sem vegetação, sendo que a fachada sem vegetação atingiu um valor superior à fachada com vegetação de 16 °C numa tarde quente.

2.6. OUTRAS VANTAGENS

Para além das vantagens referidas anteriormente, existem outras que não são tão quantificáveis, mas que de qualquer forma introduzem benefícios para a sociedade em geral (Peck et al., 1999).

2.6.1. SOCIAIS

2.6.1.1. Psicológicas

A integração de vegetação no meio urbano traz benefícios psicológicos para as pessoas (Mazzali et al., 2013). Referido em (Ottelé), este fenómeno tem o nome de biofilia e sugere que as pessoas se sentem melhor à volta do que está vivo.

Um desses benefícios psicológicos pode ser originado pelo ruído “branco” produzido pela folhagem das plantas em combinação com o vento (Peck et al., 1999).

Em adição, a produtividade de um trabalhador pode ser aumentada em 10 a 15%, ao ter contacto com vegetação. Para além da produtividade, a criatividade de um trabalhador também é acrescida em 11% até 34,7% (Timur e Karaca, 2013).

Em (Mangone, Kurvers e Luscuere, 2014) refere-se que parte do conforto térmico das pessoas pode ser influenciado por parâmetros psicológicos. Um exemplo disso, é a forma como uma pessoa solitária tende a sentir mais frio; ou durante o verão, o vislumbre de plantas pode reproduzir uma sensação de frescura na pessoa.

2.6.1.2. Físicas

A vegetação num edifício pode levar à criação de ambientes retemperadores, que por sua vez se traduzem numa redução de stress e melhoria de saúde física (Peck et al., 1999). Por exemplo, as pessoas que ocupam estes ambientes empreendem em programas com benefícios físicos, tal como a perda de peso (Safikhani et al., 2014).

Ao capturarem poeiras e póis, as plantas beneficiam pessoas com asma e outros problemas respiratórios (Peck et al., 1999). Além disso, ao criarem ambientes ricos em oxigénio, oriundo do processo natural das plantas, fazem com que as pessoas tenham menos riscos de ataques cardíacos, para além de proporcionarem espaços agradáveis para caminhar (Vasconcelos, 2012).

Ainda mencionados em (Peck et al., 1999), realçam-se os seguintes benefícios:

- Pessoas que após cirurgia tiveram a possibilidade de visualizar vegetação tiveram uma recuperação mais rápida, menos comentários negativos por parte das enfermeiras e tomaram menos medicamentos para as dores;
- Prisioneiros com vistas para florestas ou campos tinham uma menor probabilidade de reportarem doenças do que os prisioneiros sem vistas para ambientes naturais;

2.6.1.3. Acústicas

Segundo (Ferreira, 2015), dependendo do tipo de parede verde, estas têm a capacidade de reduzir o ruído entre 5 a 14 dB (decibéis), sendo que funcionam como isolantes acústicos. É importante aplicar a espessura correta de vegetação, pois de acordo com (Perini e Rosasco, 2013), uma camada fina não permite obter vantagens significativas.

A absorção, reflexão e deflexão do som depende do substrato, da espécie das plantas usadas e da existência de uma camada de ar entre as plantas e a fachada do edifício. O substrato tende a bloquear frequências baixas, já as plantas tendem a bloquear frequências altas (Wong et al., 2010b).

Em (Wong et al., 2010b) realizou-se uma experiência onde se concluiu que quanto mais área for coberta com plantas, melhor será o comportamento acústico. Mas é importante garantir uma cobertura eficaz, sem falhas, para impedir um mau comportamento acústico.

2.6.1.4. Estéticas

As paredes verdes têm a capacidade de alterar o meio urbano em termos estéticos (Wong et al., 2010a), sendo que possibilitam o realce de boas soluções estéticas e o disfarce de más decisões em termos de design (Peck et al., 1999).

São aceites como um fator de melhoria das fachadas em termos arquitetónicos (Sheweka e Mohamed, 2012). Por exemplo, zonas industriais degradadas podem ser reabilitadas de forma a causarem impactos estéticos e até psicológicos, ambos agradáveis, nas pessoas (Virtudes e Iop, 2016).

Podem ser usados como pontos de referência numa zona urbana, devido ao seu impacto visual. Um bom exemplo disso, são as paredes vivas, que permitem o uso de espécies diferentes de plantas, podendo variar em termos de cor e tamanho, criando fachadas embelezadas (Timur e Karaca, 2013).

Estudos referidos em (Peck et al., 1999) indicam que a cultura ocidental condicionou os seus cidadãos a valorizar zonas verdes em vez de cidades e as suas características estéticas.

2.6.2. AMBIENTAIS

2.6.2.1. Qualidade do ar

A vegetação tem a capacidade de adsorver partículas de poeira fina, gases poluentes e metais pesados através da superfície das folhas. Plantas com folhas finas, abrangentes e superfícies ásperas têm, em geral, resultados melhores (Barreiro, 2016).

Partículas de pó, especialmente aquelas com tamanho menor a 10 micrómetros (μm), são retidas no exterior das plantas, daí que estas funcionem bem como reservatórios. Partículas de pó menores do que 2,5 μm são prejudiciais para o ser humano, daí que, as plantas ao funcionarem como reservatórios de pó, possam ser benéficas para o ser humano (Perini, 2011).

Durante o verão, com o aquecimento global das zonas urbanas, correntes de ar quente ascendentes são criadas. Essas correntes transportam poeiras e partículas de pó, que podem ser reduzidas ao serem capturadas pelas plantas (Peck et al., 1999).

Em (Ottelé) refere-se que a escolha certa da vegetação pode reduzir a concentração de pós finos no ar. Por exemplo, uma planta com folhas mais ásperas, vai permitir uma melhor captura de partículas.

Segundo (Ferreira, 2015), *“Um edifício com uma fachada verde de área 60 m² pode filtrar até 60 t de gases ao ano. Este mesmo sistema é capaz de captar até 15 kg de metais pesados por metro quadrado e 130 gr de pós...”*.

2.6.2.2. Drenagem

As paredes verdes têm a capacidade de reduzir o impacto da água da chuva (Mazzali et al., 2013).

Por exemplo, a zona urbana é caracterizada por superfícies impermeáveis, fazendo com que se tenha de drenar a água com recurso a sistemas de drenagem. Estes sistemas, por vezes podem não aguentar o fluxo de água, levando a cheias. A vegetação em edifícios permitirá controlar melhor o fluxo de água, podendo levar a menos cheias e outros efeitos negativos daí resultantes (Sheweka e Magdy, 2011).

2.6.2.3. Biodiversidade

Os vários VGS têm uma função de habitat e alimentar para com insetos e aves. Isto permite uma migração de animais para áreas urbanas onde se aplique vegetação em fachadas. Conforme o tipo de plantas utilizadas, diferentes espécies de animais podem aparecer, contribuindo para o aumento de biodiversidade (Perini e Rosasco, 2013).

Mas, não são só os animais que podem colher vantagens, pois as paredes verdes permitem a plantação de árvores de fruto e vegetais. Isto, para além de contribuir para a agricultura, também permitirá uma diversidade de vegetação, contribuindo para a biodiversidade (Loh, 2008).

Os diferentes VGS introduzem a possibilidade de usar vegetação local e que possa estar reduzida em termos de números, daí que contribua para o aumento de biodiversidade. Para fazer esta implementação correta, é necessário um conhecimento sólido por parte dos autores do projeto ou dos seus associados em relação à vegetação local. Ao usar vegetação local também se contribui para o desenvolvimento de espécies animais locais (Elgizawy, 2016).

2.6.2.4. "Urban heat island"

"Urban Heat Island" (UHI), em português, efeito de ilha de calor é um fenómeno causado por vários fatores, sendo um deles a falta de vegetação natural, sendo que esta é substituída por edifícios de betão e superfícies artificiais com um albedo (refletividade) baixo (Wong et al., 2010a). Esta substituição leva a humidades e temperaturas noturnas mais altas, a poluição do ar e a fluxos de ar restritos que permitem a concentração elevada de partículas (Cheng, Cheung e Chu, 2010).

A introdução de vegetação nos edifícios pode servir como compromisso entre a necessidade de crescer da cidade e a remoção de vegetação (Antonyová, Antony e Korjenic, 2017). A opção de cobrir as fachadas com vegetação, permite uma redução de temperatura à volta do edifício, levando a uma redução de temperatura exterior, que mitiga o efeito da "UHI" (Sheweka e Mohamed, 2012).

Superfícies e materiais artificiais com um albedo baixo, absorvem bastante radiação solar durante o dia, e à noite irradiam calor. A vegetação, apesar de ter um albedo um pouco mais alto (quando comparada com o asfalto, por exemplo), vai contrariar estes efeitos negativos, para além de aumentar o fluxo de ar, levando a trocas de ar quente por ar fresco mais rapidamente (Perini e Rosasco, 2013).

A forma como contraria os efeitos negativos é devido aos efeitos de evapotranspiração e sombreamento, sendo que a vegetação consegue reduzir significativamente a quantidade de calor que seria transmitido por fachadas sem vegetação (Pérez et al., 2014).

Edifícios altos cobertos por vegetação causam efeitos de arrefecimento mais acentuados. Conciliação entre a geometria do edifício e a espécie correta de planta leva a uma influência sob as taxas de arrefecimento noturnas e a distribuição espacial da temperatura do ar (Antonyová, Antony e Korjenic, 2017).

2.6.2.5. Filtro

Componentes das plantas filtram as impurezas provindas da água, tais como o nitrogénio e o dióxido de enxofre transformando-os em nitratos e sulfatos (Perini et al., 2013). Mas, não são apenas as raízes que têm propriedades filtrantes, o próprio substrato também pode funcionar como um filtro para com metais pesados e nutrientes oriundos da chuva (Peck et al., 1999).

2.6.2.6. Microclima

"As características e espécie de vegetação, o tipo e a densidade da folhagem, a forma de ordenamento entre si, o posicionamento do terreno e o débito de evaporação são, entre outros, fatores que podem influenciar decisivamente o clima e originar diferentes efeitos específicos climáticos, e assim contribuir para o melhoramento dos microclimas urbanos." - retirado de (Barreiro, 2016)

Com diferentes tipos de climas, existe a possibilidade de equilibrar zonas com condições climatéricas extremas, o que leva a uma melhoria de vida (Barreiro, 2016).

2.6.3. ECONÓMICAS

Como já foi mencionado em 2.6.1.1., espaços com vegetação podem levar a uma melhoria de produtividade e criatividade de um trabalhador. Isso implica um melhor desempenho da empresa, logo poder-se-á transmitir nos seus lucros finais (Mangone e van der Linden, 2014).

Esses espaços com vegetação, a longo prazo, poderão reduzir os custos de operação de um edifício. Por exemplo, devido aos efeitos de sombreamento e melhoria de qualidade de ar, as paredes verdes podem servir de filtros e ar condicionado natural, podendo poupar dinheiro em equipamentos. Outro exemplo, será como conseguem reduzir a energia gasta em arrefecimento durante o verão devido aos efeitos de ilha de calor nas cidades (Ottelé et al., 2011).

Além disso, devido aos efeitos de isolamento e sombreamento por parte dos diferentes VGS, poderá existir uma poupança em termos de energia gasta para o arrefecimento de um edifício durante o verão. Aliás, por cada grau reduzido internamente, pode existir uma redução em termos de eletricidade que seria gasta em ar condicionado (Perini et al., 2011).

Dado que a vegetação tem a capacidade de absorver radiação ultravioleta e adsorver gases poluentes, isto implicará uma melhor conservação da fachada, logo em termos de custos de manutenção, estes serão menores, pois a fachada terá uma durabilidade maior (Ottelé et al., 2011).

Em (Pérez et al., 2014) faz-se uma referência a como um investimento em paredes verdes nas zonas urbanas pode levar a um incremento de turismo. Mas não é só apenas o turismo que tem a possibilidade de proliferar, o valor das propriedades ou das rendas também podem ser aumentadas (vantajoso para o senhorio, desvantajoso para o inquilino) (Sheweka e Magdy, 2011). Estudos referidos em (Perini e Rosasco, 2013) chegaram a um intervalo de 1,4 a 15% em termos de aumento do valor de uma propriedade devido à aplicação de paredes verdes.

Dada a capacidade de retenção de água por parte das paredes verdes, existe a possibilidade de poupar no sistema de drenagem (Mazzali et al., 2013). Muitas cidades europeias, e até americanas, cobram taxas conforme o nível de descarga de águas. Quanto mais água for descarregada no sistema principal de drenagem, mais elevada será a taxa a pagar (Peck et al., 1999).

Os ambientes retemperadores que levam a melhorias físicas, mais especificamente em zonas hospitalares, podem traduzir uma poupança em termos de custos de cuidados de saúde (Peck et al., 1999).

Por último, uma análise de custo-benefício foi elaborada por (Perini e Rosasco, 2013), de forma a avaliar a sustentabilidade económica de diferentes VGS, através de três indicadores, sendo estes:

1. NPV – Net Present Value, em português, Valor Atualizado Líquido – Valor descontado da soma dos custos e benefícios que ocorrem dentro do período de vida considerado;
2. IRR – Internal Rate of Return, em português, Taxa Interna de Retorno – taxa anual do retorno do investimento;
3. PBP – Pay Back Period, em português, Período de Retorno – número de anos a partir dos quais a receita do investimento é igual ou maior ao custo total;

Para auxiliar os resultados desses indicadores, outros parâmetros foram estudados, tal como o custo da instalação dos VGS, o custo da manutenção, remoção, etc.

As principais conclusões a que (Perini e Rosasco, 2013) chegou foi de que uma fachada verde direta é economicamente sustentável para todos os casos analisados em (Perini e Rosasco, 2013) e com um período de retorno médio de 16 anos. A fachada verde indireta pode ser sustentável, conforme o material utilizado para o sistema de suporte. Já a parede viva apresentou uma não sustentabilidade económica devido aos custos elevados de instalação e manutenção.

De referir que esta análise foi publicada em 2013, referente a Génova, localizada em Itália e que existem vários fatores presentes no artigo que podem ser intransponíveis para o caso de Portugal. De qualquer

forma, entendeu-se que seria relevante mencionar este tipo de análise para uma melhor perceção económica dos VGS.

3

SIMULAÇÃO

3.1. NOTA PRÉVIA

A simulação realizada será efetuada em três zonas distintas (quadro 6). Estas zonas corresponderão com as zonas climáticas referenciadas no Despacho n.º 15793-F/2013, tanto para Verão como para Inverno.

Quadro 6 – Zonas climáticas escolhidas

NUTS III	Altitude (m)	Município	Zona climática de Verão	Zona climática de Inverno
Alentejo Central	321	Évora	V3	I1
Alto Trás-os-Montes	692	Bragança	V2	I3
Pinhal Litoral	247	Porto de Mós	V1	I2

Para facilitar a comparação de resultados, o autor decidiu adotar o critério referido em (Pérez et al., 2014), relativamente à classificação do clima. Esta classificação baseia-se no “Köppen Climate Classification System”. Segundo este sistema de classificação, Évora e Porto de Mós têm a classificação Csa (“Warm temperate”, “summer dry”, “hot summer”) e Bragança tem a classificação Csb (“Warm temperate”, “summer dry”, “warm summer”).

A simulação decorrerá na semana mais quente e mais fria do ano. Estas opções estão disponíveis no DesignBuilder como “summer design week” e “winter design week”, respetivamente. O programa analisa os ficheiros climáticos da região em análise e determina estas semanas automaticamente.

As variáveis em análise serão a temperatura do ar interior e o número de horas de desconforto para um dos quartos (quarto_2 tal como é referenciado no DesignBuilder) e a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 onde está aplicada a vegetação.

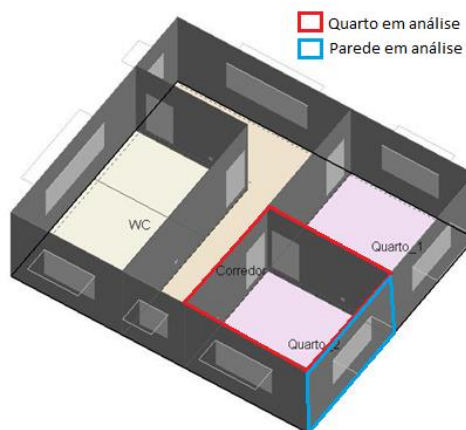


Fig.33 – Localização do quarto em análise (Quarto_2) e da parede em análise. Retirado do DesignBuilder

Estas variáveis serão medidas em diferentes situações, indicadas no quadro 7.

Quadro 7 – Resumo das diferentes situações a simular

Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação
Com isolamento	Frac	Este	Sim
			Não
		Oeste	Sim
			Não
		Sul	Sim
			Não
	Forte	Este	Sim
			Não
		Oeste	Sim
			Não
		Sul	Sim
			Não
Sem isolamento	Forte	Este	Sim
			Não
		Oeste	Sim
			Não
		Sul	Sim
			Não

3.2. MODELO GERAL

A vegetação será integrada numa fachada de uma habitação unifamiliar, com dois pisos e sete divisões.

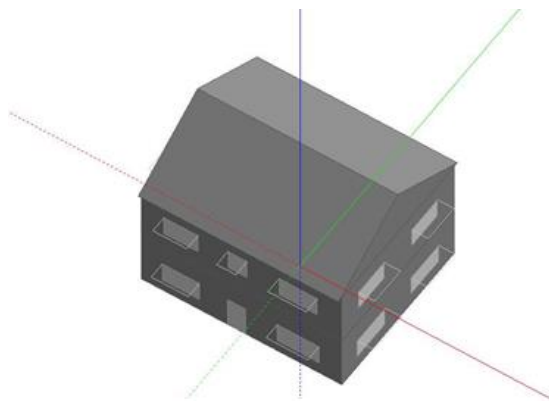


Fig.34 – Representação 3D da habitação no DesignBuilder

No piso 1, encontram-se o corredor, a cozinha, a sala de jantar e uma casa de banho.

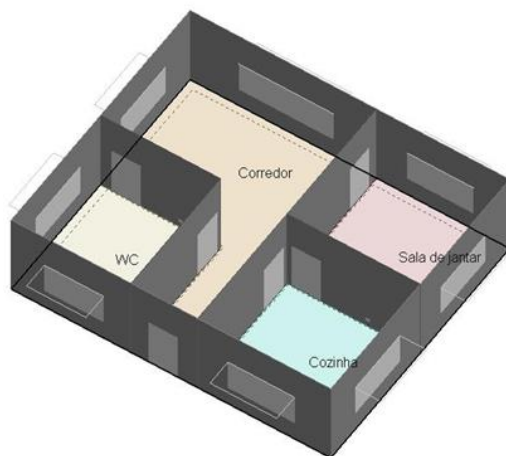


Fig.35 – Representação 3D do piso 1 no DesignBuilder

Já o piso 2 contém dois quartos, uma casa de banho e um corredor (este está ligado ao corredor do piso 1 através de uma escada, logo é considerado apenas como uma única divisão em termos de simulação).

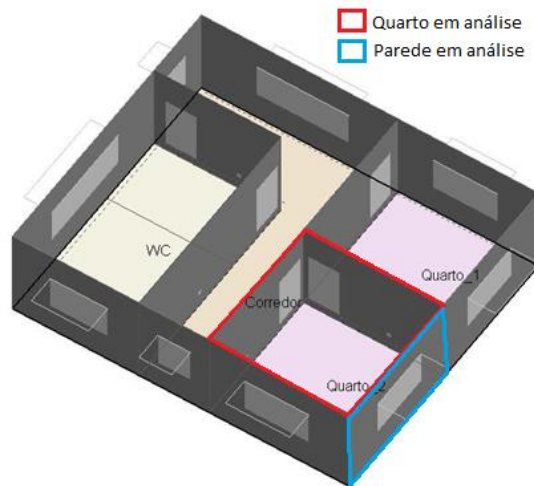


Fig.36 – Representação 3D do piso 2 no DesignBuilder

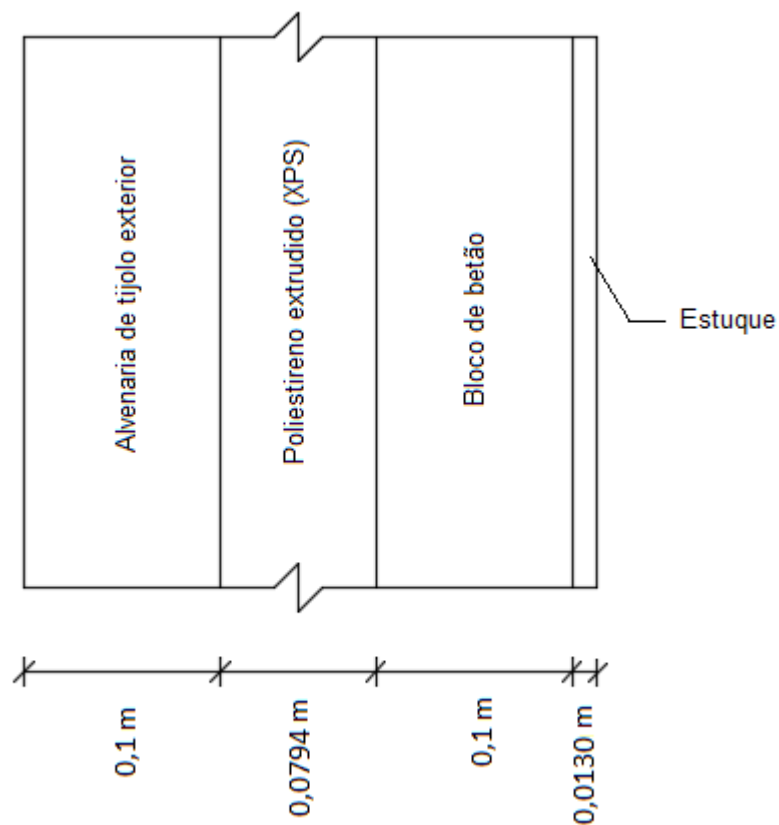


Fig.37 – Esquema construtivo da parede em análise. Parede fornecida pelo DesignBuilder

O esquema indicado na figura 37 diz respeito à constituição da parede do quarto_2 para a habitação com isolamento e inércia forte. Para simular a habitação sem isolamento, o autor retirou apenas a camada de isolamento (Poliestireno extrudido) e para a habitação com isolamento e inércia fraca, o autor isolou os

diversos elementos construtivos da habitação pelo interior (mantendo o valor do coeficiente de transmissão térmica).

Os envidraçados presentes no quarto_2 têm uma área de 5,896 m², sendo que os vidros são duplos e com um coeficiente de transmissão térmica de 1,960 W/m².°C. São acompanhados por palas de 1 metro e estores exteriores de alta refletividade. Como o programa só assume que o estore ou está completamente fechado ou completamente aberto, o autor decidiu manter o estore completamente fechado durante o Verão (para reduzir os ganhos solares) e completamente aberto no Inverno (para aumentar os ganhos solares e verificar ao efeito da vegetação nessas condições).

Total solar transmission (SHGC)	0.691
Direct solar transmission	0.624
Light transmission	0.744

Fig.38 – Características do vidro. Retirado do DesignBuilder

As palas vão estar presentes em todas as janelas da habitação, tanto para o Inverno como para o Verão. Ora, no Verão tem vantagens pois diminui a radiação que passa para o interior da casa, não a sobreaquecendo. Mas no Inverno, poderá ser desvantajoso pois não aquece tanto a habitação, levando a um consumo energético superior (Despacho n.º 15793-I/2013). O autor tem noção destas consequências, mas o seu objetivo é o de estudar a influência da vegetação e diminuir ao máximo o impacto de outros fatores para realçar o efeito desta. Se o autor permitisse a entrada de muita radiação solar pelos envidraçados, os efeitos da vegetação poderiam ser negligenciados devido à quantidade de calor produzido pela radiação incidente.

A habitação não tem qualquer tipo de equipamento para aquecimento e arrefecimento, exceto uma caldeira estritamente utilizada para águas quentes. A ventilação que ocorre é apenas natural, sendo esta permitida através das janelas e portas. A ventilação está programada no DesignBuilder de forma a depender principalmente dos fatores (DesignBuilder):

- “Ventilation setpoint temperature” – Temperatura mínima para a qual a ventilação natural está ativada. Isto é, se a temperatura do ar interior for superior a este “setpoint”, o programa assume que existe ventilação natural. Este “ventilation setpoint temperature” está definido de maneira a que a ventilação ocorra de forma igual para os diferentes casos.
- Horário para ventilar – Este horário revela em que altura do dia, existe a possibilidade de ventilar a habitação. Na simulação, este horário permite uma ventilação durante todo o tempo.
- Renovações horárias – O autor definiu um valor de 3,5 ac/h (“air changes per hour”) para o Verão e de 0,25 ac/h para o Inverno (Portaria n.º 349-B/2013).
- Infiltração de ar – Fator que expõe a quantidade de renovações horárias que ocorrem devido a fendas e falhas na construção. Definido em 0,3 ac/h.

Relativamente à atividade humana na casa, esta é estabelecida através de horários, já pré-existent e carregados no DesignBuilder. O único aspeto a ter em atenção é a divisão onde estes horários são aplicados (um horário de atividade para o quarto é diferente de um horário de atividade para o corredor, por exemplo).

Os dados climáticos de Évora e Bragança estavam já disponíveis no DesignBuilder, através da base de dados do EnergyPlus (programa incluído no DesignBuilder). Quanto aos dados climáticos de Porto de Mós, estes foram obtidos através da DGEG (Direção Geral de Energia e Geologia) (LNEG).

3.3. ESTUDO DE MODELOS VEGETAIS

Durante o estudo bibliográfico o autor deparou-se com três modelos diferentes aplicáveis a determinados VGS para poder correr uma simulação de forma a obter resultados fiáveis e em conformidade com os resultados obtidos por outros autores.

O primeiro objetivo deste subcapítulo foi o de apenas fazer uma seleção do modelo a utilizar, daí que não sejam apresentados dados completos e específicos para cada modelo, nem uma comparação muito exaustiva entre eles.

O autor irá simular os diferentes modelos para uma única parede de uma habitação. A habitação é a descrita no subcapítulo 3.2, sendo que se trata de uma construção com isolamento e com inércia forte (ver detalhes da constituição da parede na figura 37 do subcapítulo 3.2) e localizada em Évora.

3.3.1. MODELO 0

Este modelo corresponde à habitação sem qualquer tipo de VGS, sendo por isso o caso base e comparativo em relação aos restantes modelos. A sua representação visual encontra-se na figura 37 no subcapítulo 3.2.

3.3.2. MODELO 1

Proposto por (Juri Yoshimi e Altan, 2011) e baseado em (Holm, 1989), este modelo é constituído por 5 camadas de maneira a que simulem a zona com vegetação de uma fachada verde indireta (de acordo com a caracterização da presente tese).

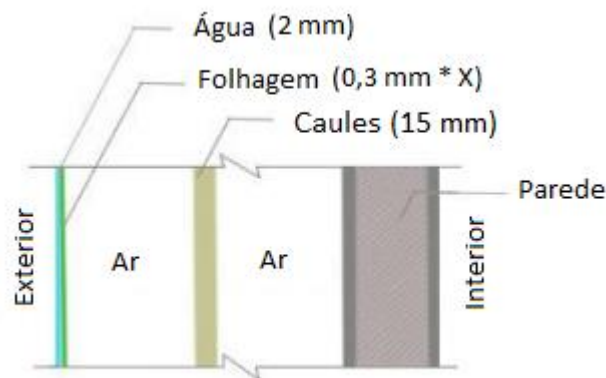


Fig. 39 – Representação visual do modelo 1. X representa o rácio de cobertura pelas folhas da “Hedera Helix” (Juri Yoshimi e Altan, 2011)

Tal como se pode ver pela figura 39, a zona com vegetação é constituída por uma camada de água, folhagem, ar, caules e ar, sendo as restantes camadas características da construção onde vai ser aplicada a vegetação.

3.3.3. MODELO 2

Modelo utilizado por (Carlos, 2015), onde o autor utiliza a opção de “green roof” programada no EnergyPlus de forma a simular uma fachada verde direta (de acordo com a caracterização da presente tese).

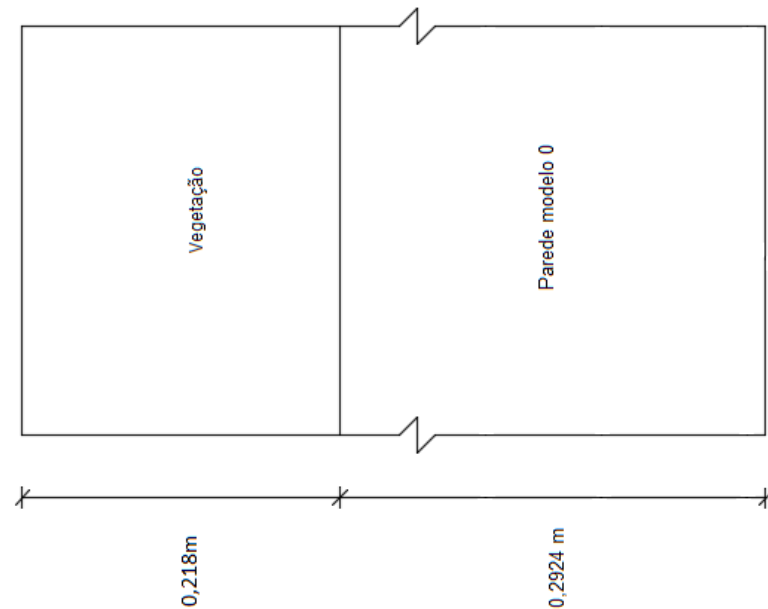


Fig.40 – Representação visual do modelo 2

Dado que o programa utilizado nesta tese (DesignBuilder) usa o EnergyPlus como base de cálculo, a opção programada “green roof” também esteve disponível para o autor desta tese. A ideia foi a de usar esta opção, mas em superfícies verticais (fachadas) de forma a verificar se produzia resultados satisfatórios.

Moisture diffusion calculation method	1-Simple
Height of plants (m)	0,2180
Leaf area index (LAI)	3,0000
Leaf reflectivity	0,220
Leaf emissivity	0,950
Minimum stomatal resistance (s/m)	180,000
Max volumetric moisture content at saturation	0,400
Min residual volumetric moisture content	0,010
Initial volumetric moisture content	0,200

Fig.41 – Propriedades da camada de vegetação. Retirado do programa DesignBuilder

Thermal absorptance (emissivity)	0,950
Solar absorptance	0,800
Visible absorptance	0,700

Fig.42 – Propriedades da superfície da camada de vegetação. Retirado do programa DesignBuilder

Espessura da vegetação = 0,218 m.

Os valores indicados nas figuras 41 e 42 foram os utilizados pelo autor de (Carlos, 2015).

3.3.4. MODELO 3

Modelo baseado em (Ottelé), onde foram elaborados testes laboratoriais de forma a descobrir a resistência térmica de diferentes VGS. Com os valores determinados da resistência térmica, o autor da presente tese, colocou a possibilidade de simular uma parede verde com base na sua resistência térmica.

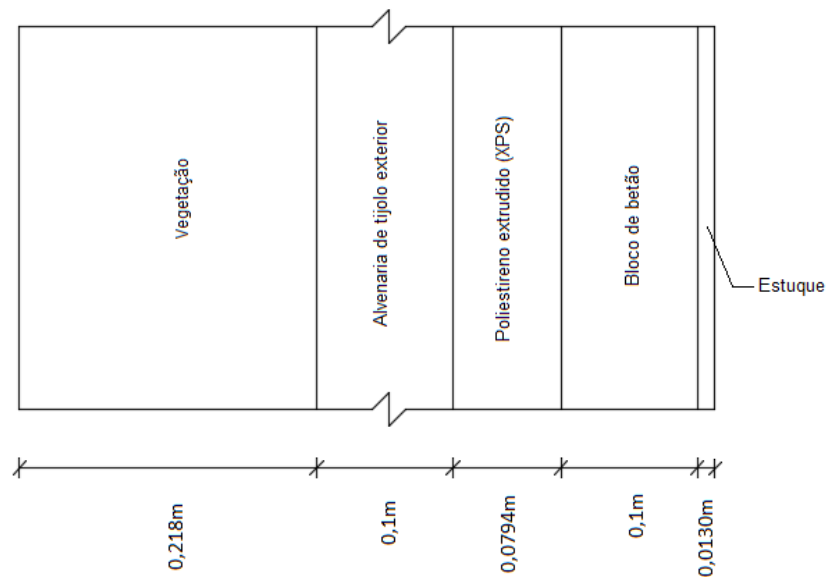


Fig.43 – Representação visual do modelo 3

Quadro 8 – Valores estimados de R para diferentes VGS, em condições de Inverno

Medições de Inverno	
VGS	Valor de R (m ² .°C/W)
Parede sem VGS	3,42
Fachada verde direta com " <i>Hedera helix</i> "	0,18
Fachada verde indireta com " <i>Hedera helix</i> "	0,18
Parede viva modular - tabuleiros	1,30
Parede viva – tapete de lã mineral	1,10
Parede viva – tapete de espuma de resina sintética	1,06

Parede viva – tapete de feltro	1,05
--------------------------------	------

O VGS simulado corresponderá a uma fachada verde indireta, logo terá um $R = 0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$. O valor da resistência provém de uma experiência elaborada para o Inverno e não para o Verão, mas os valores determinados para o Verão em (Ottelé) não podem ser utilizados, segundo o próprio autor, pois o tempo para o qual a experiência correu foi baixo e não produziu resultados confiáveis. Daí que o autor desta tese tenha optado por usar o valor de $0,18 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ para a resistência da vegetação no Verão e Inverno.

O DesignBuilder não permite caracterizar uma camada apenas com base na sua resistência térmica, daí que o autor tenha de usar mais parâmetros para caracterizar este modelo. Em (Ottelé) não é possível obter valores para as propriedades da superfície, daí que o autor tenha adaptado esses valores de (Holm, 1989), indicados no quadro abaixo.

Quadro 9 – Propriedades para a camada de vegetação

Emissividade	0,380
Absorção solar	0,720
Absorção visível	0,960

Espessura da camada de vegetação = 0,218 m.

3.3.5. RESULTADOS

Para testar os diferentes modelos foi realizada uma simulação prévia. A simulação foi realizada de acordo com o descrito em 3.2, sendo que só foi realizada para o Verão, na semana mais quente do ano para Évora e modificando a constituição construtiva da habitação de acordo com o modelo a simular.

As figuras 44 até 51 foram retiradas do DesignBuilder.

3.3.5.1. Modelo 0

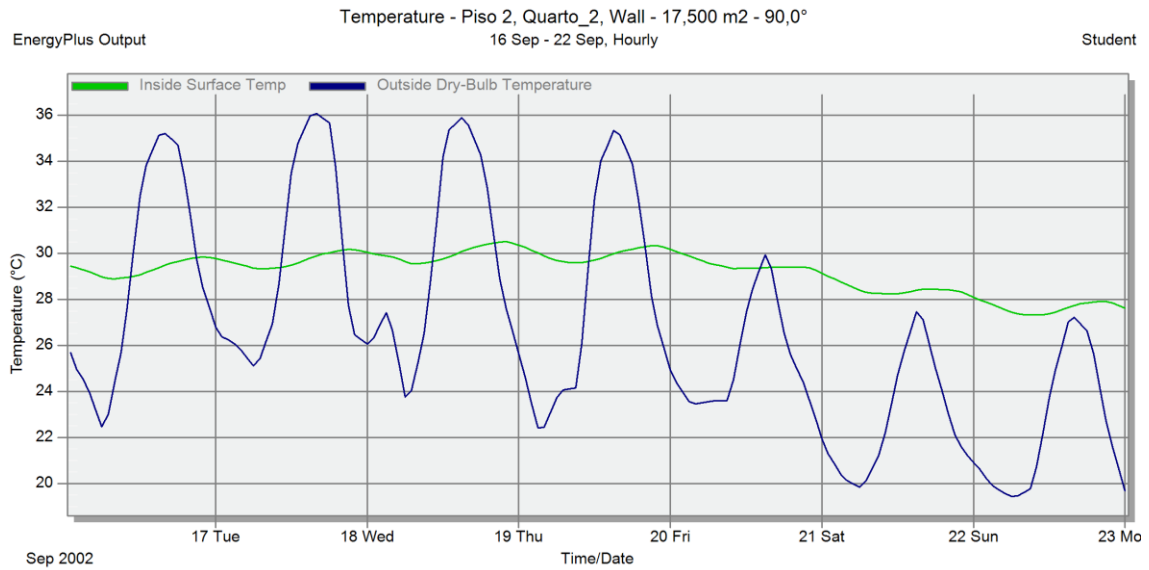


Fig.44 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior

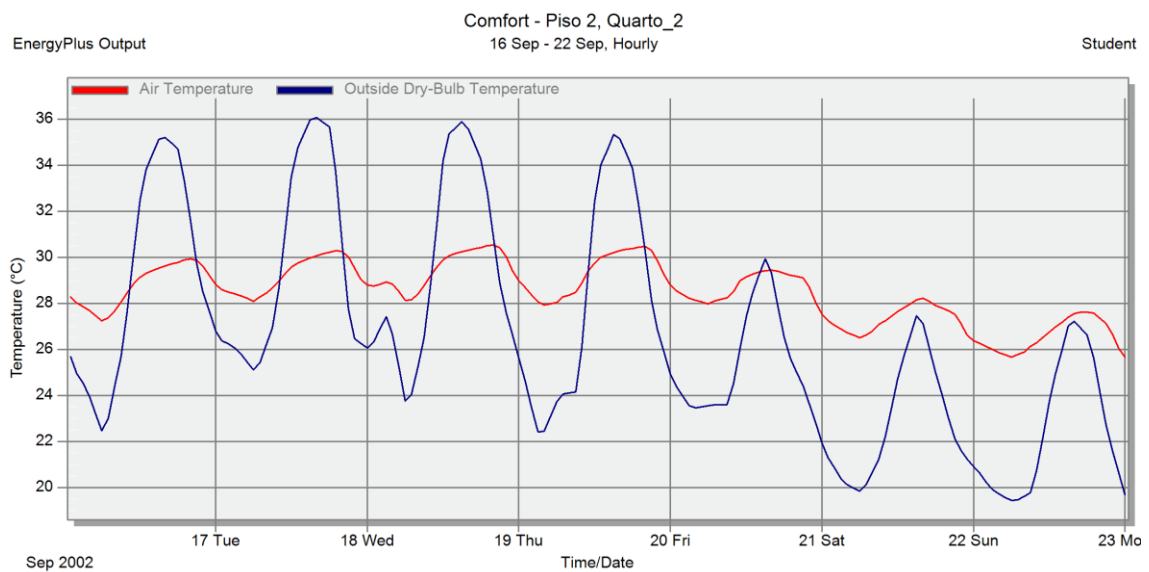


Fig.45 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior

3.3.5.2. Modelo 1

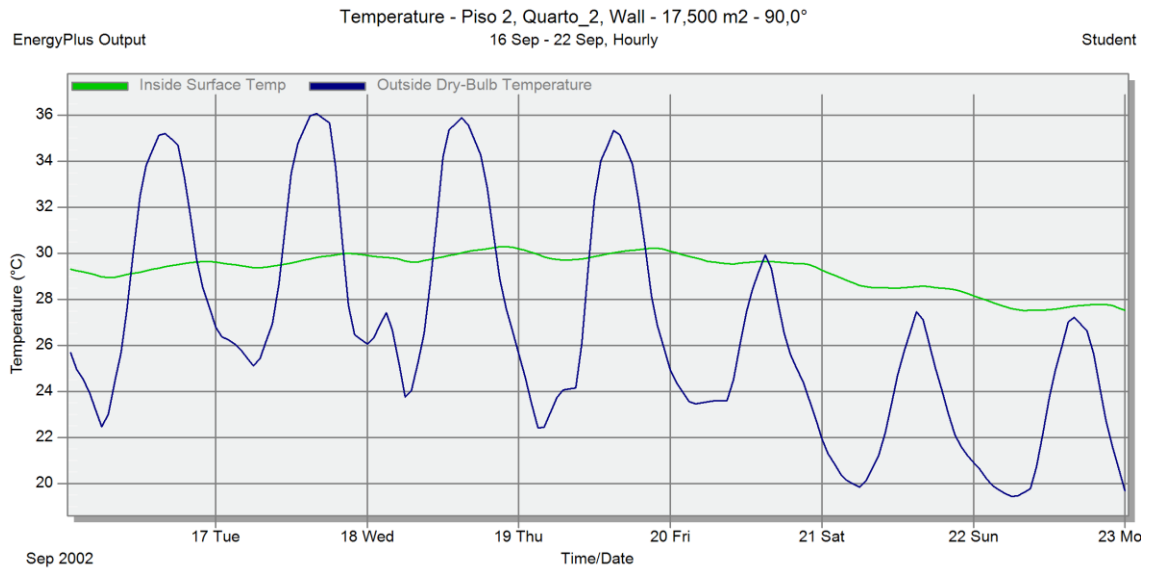


Fig.46 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior

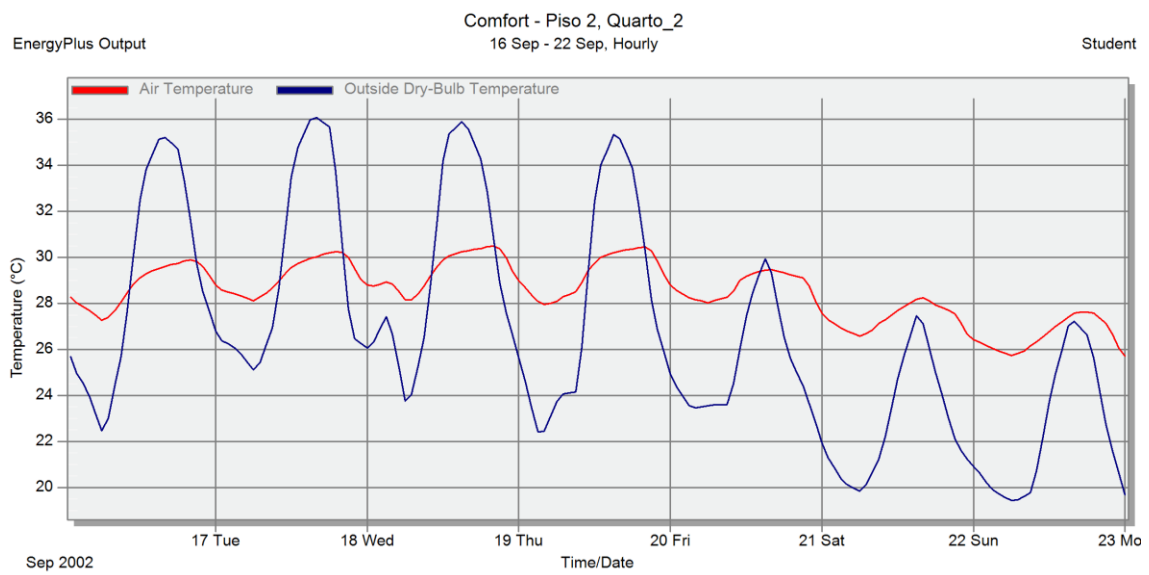


Fig.47 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior

3.3.5.3. Modelo 2

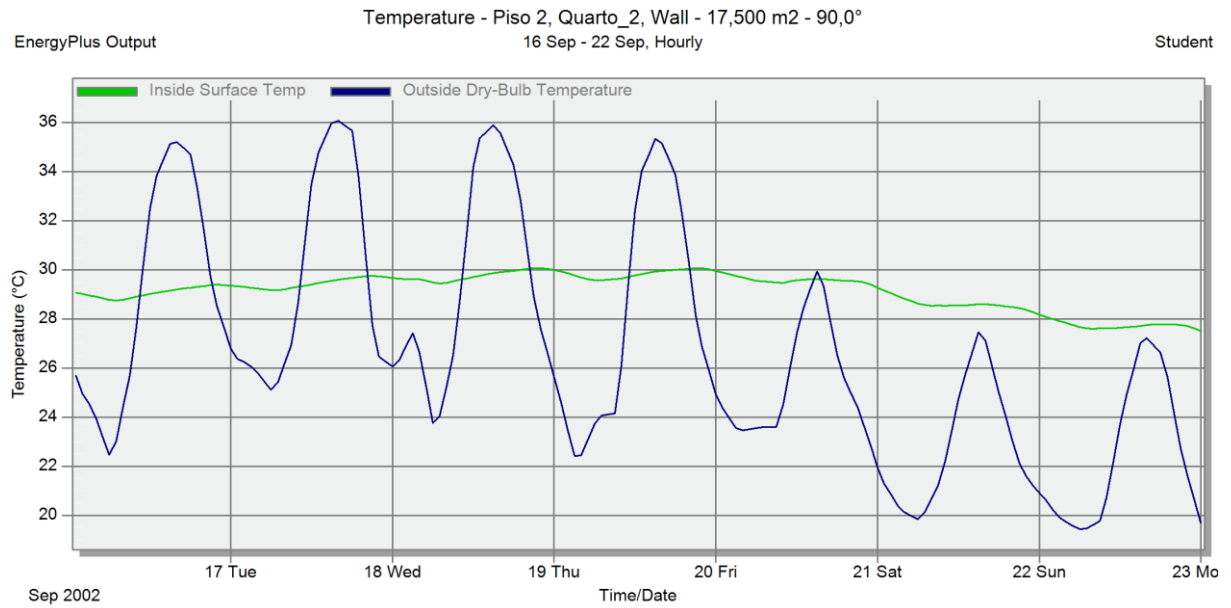


Fig.48 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior

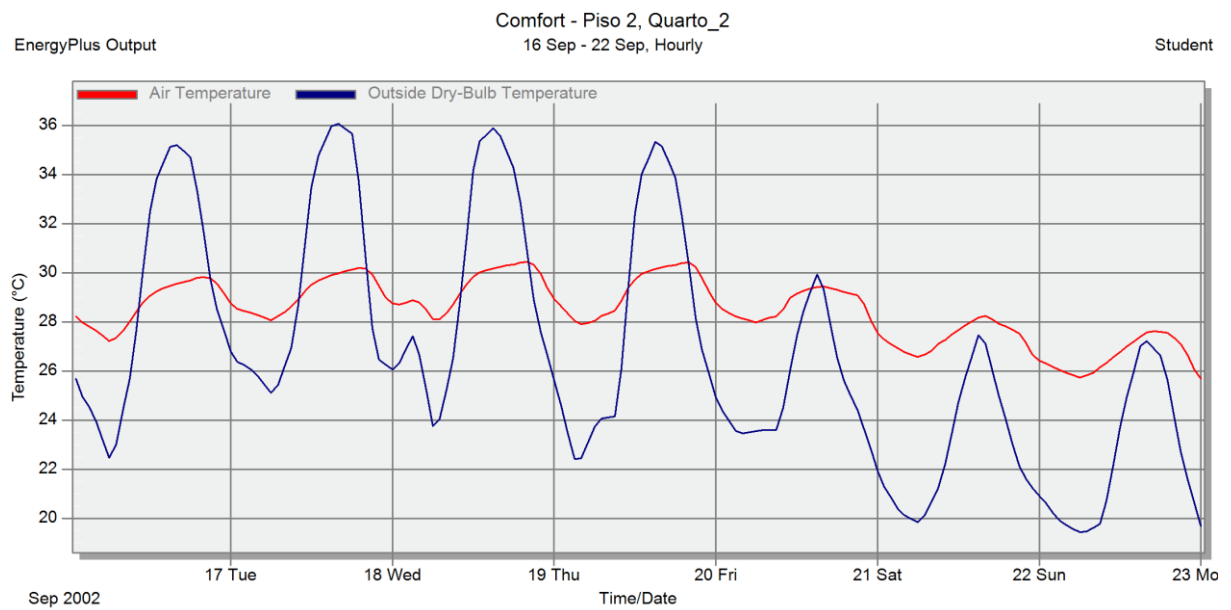


Fig.49 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior

3.3.5.4. Modelo 3

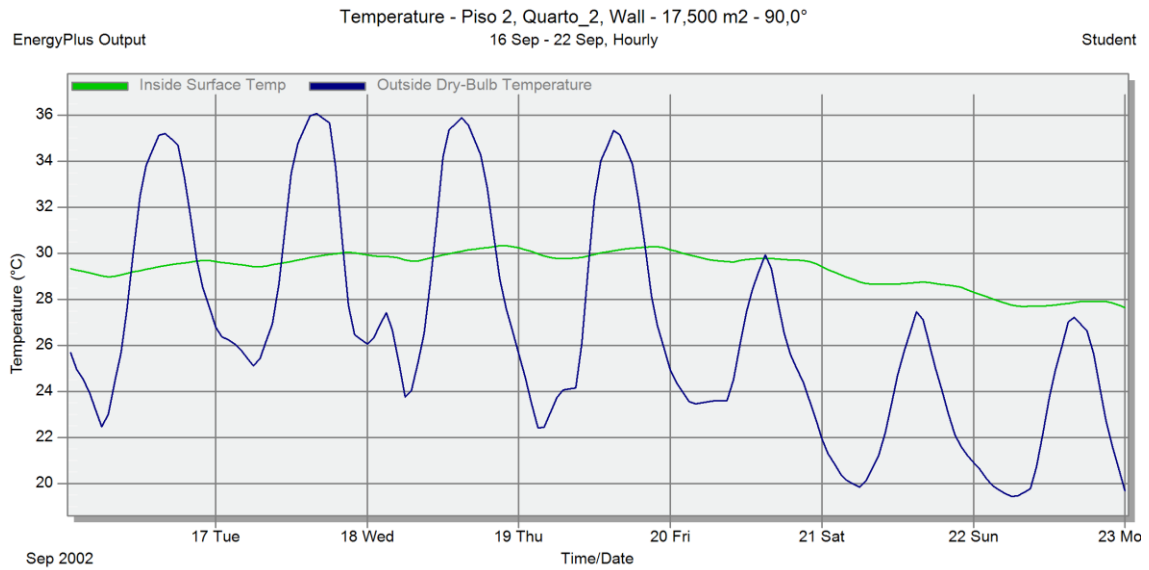


Fig.50 – Temperatura superficial interior da parede Este e temperatura do ar exterior

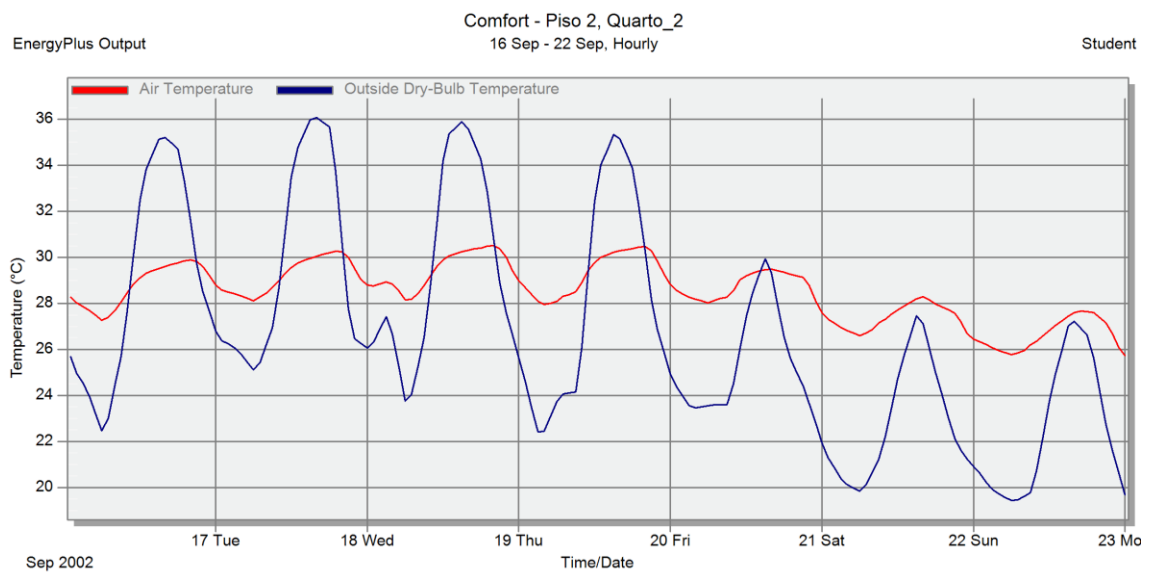


Fig.51 – Temperatura do ar interior do quarto e temperatura do ar exterior

3.3.6. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Dos três modelos, o modelo 3 foi o que produziu mais resultados onde a temperatura interior do Quarto_2 com o VGS aplicado era superior à temperatura interior do Quarto_2 sem o VGS aplicado. Logo, foi eliminado como modelo a utilizar.

Apesar de o modelo 2 ter produzido resultados satisfatórios, numa primeira análise, devido à falta de validação, de o próprio programa assumir que não sabe se este modelo resulta para simular a vegetação em elementos verticais (“*This model was developed for low-sloped exterior surfaces (roofs). It is not recommended for high-sloped exterior surfaces (e.g., walls)*” – retirado de (DesignBuilder)) e de o pouco à vontade do autor com o modelo, este foi descartado.

Já o modelo 1, para além de ter validação experimental (discutido mais à frente na tese), também pareceu ser o mais intuitivo em relação à constituição de uma fachada com vegetação.

3.4. MODELO A SIMULAR

3.4.1. CARACTERIZAÇÃO DO MODELO

Na simulação, vai ser utilizado um modelo de vegetação que se baseia em (Juri Yoshimi e Altan, 2011) e (Holm, 1989). Este modelo de vegetação tem como objetivo a representação de uma fachada verde indireta, não sendo possível especificar mais do que isso.

O modelo de vegetação é constituído por 5 camadas (fig. 52):

- a) Camada de água
- b) Camada de folhagem
- c) Camada de ar
- d) Camada de caules
- e) Camada de ar

Sendo que as restantes camadas são características da construção onde vai ser aplicado a parede verde.

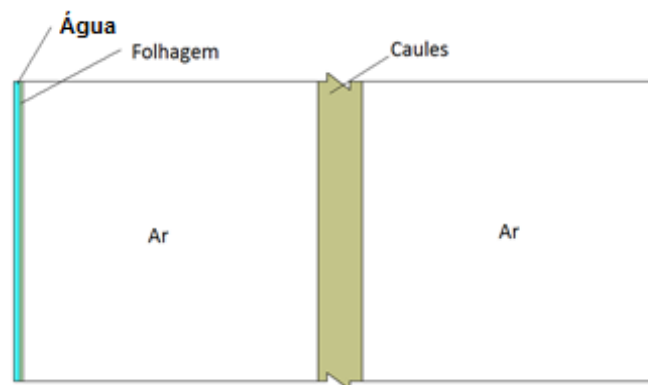


Fig.52 – Representação visual do modelo (apenas da zona com vegetação)

Quadro 10 – Características de cada camada

Camadas	Espessura (m)	Condutibilidade (W/m.K)	Calor específico (J/Kg.K)	Densidade (Kg/m ³)	Resistência (m ² .K/W)
Água	0,002	0,0203	1874	0.68	0,23
Folhagem	0,001	0,14	100	533	0,15
Ar	0,1	-	1000	1000	0,18
Caules	0,015	0,14	1880	110	0,15
Ar	0,1	-	1000	1000	0,18
Total	0,218	-	-	-	-

Quadro 11 – Características superficiais de cada camada

Camadas	Emissividade	Absorção solar	Absorção visível
Água	0,9	0,72	0,96
Folhagem	0,38	0,72	0,96
Ar	0,9	0,7	0,7
Caules	0,9	0,6	0,6
Ar	0,9	0,7	0,7

3.4.2. VALIDAÇÃO DO MODELO

Com este subcapítulo, o objetivo é o de demonstrar como é que os autores de (Juri Yoshimi e Altan, 2011) e (Holm, 1989) validaram os seus modelos de forma a obterem resultados fiáveis. Desta forma, o modelo utilizado nesta tese também terá fortes bases de comprovação o que originará resultados fiáveis.

3.4.2.1. Validação 1

Validação retirada de (Juri Yoshimi e Altan, 2011).

Neste artigo, uma simulação computacional com validação experimental, com recurso ao programa ECOTECT, foi realizada.

- Modelo da vegetação utilizado

As propriedades térmicas da planta *Hedera Helix* (“Common Ivy”) foram modeladas no programa ECOTECT, sendo os seus resultados validados por um estudo de campo conduzido por Nojima, que usou plantas com propriedades térmicas semelhantes à da *Hedera Helix*.

As propriedades físicas e térmicas, da *Hedera Helix*, dos seguintes parâmetros foram levadas em consideração na simulação:

- Specific Heat: 2.8 J/kgK
- Thermal Conductivity: 0.36 W/mK
According to the data measured on leaves of Eucalyptus globules
- Density of leaf layer:
 $1000\text{mm}/0.3\text{mm} * 200 * 0.8\text{g} = 533,280\text{g/m}^3$
- Estimated leaf area of English Ivy:
 $0.005\text{m}^2/\text{leaf}$ (200leaves/ m^2)
Weight of Eucalyptus globules leaf: 0.8g
Thickness of Eucalyptus globules: 0.3mm

Layer Name	Width (mm)	Density (Kg/m ³)	Sp. Heat (J/KgK)	Conduct. (W/mK)
Water Vapour	2.0	0.6	1966	5.56
Leaves	0.3 X*	533	2.8	0.4
Air Gap	T**	1.3	1004	5.56
Softwood (Stem)	15	110	1880	0.14
Air Gap	T**	1.3	1004	5.56

* X= Covering ratio by Ivy leaves (Hoyano, 1988)

** T= Plant cover thickness/2

Fig.53 – Retirado de (Juri Yoshimi e Altan, 2011)

Com base no modelo de Holm (1989), chegou-se ao seguinte modelo a usar na simulação:

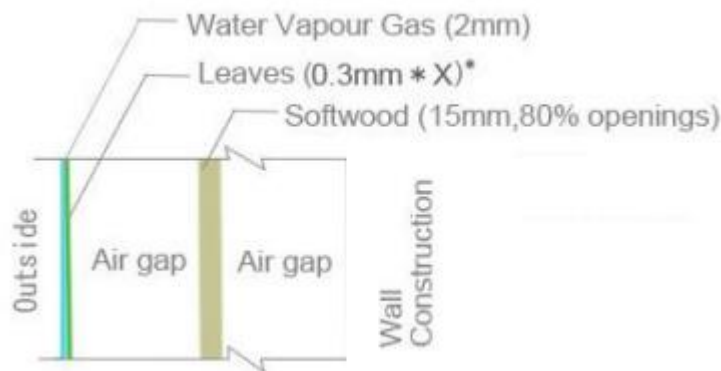


Fig.54 – Representação visual do modelo (apenas da zona com vegetação). Adaptado de (Juri Yoshimi e Altan, 2011)

A camada denominada de “Softwood” tem como objetivo a representação dos caules da folhagem, mas com uma densidade adaptada ($20\% \times 550 \text{ Kg/m}^3 = 110 \text{ Kg/m}^3$). A camada de água tem como objetivo a representação da água evaporada proveniente da folhagem.

- Validação do modelo adotado

O estudo de campo realizado por Nojima foi utilizado para validar o modelo de vegetação. Nesse estudo de campo foi usada uma célula de ensaio, sendo que essa foi posteriormente simulada no programa ECOTECT.

O estudo de campo foi realizado em Tukuba, situada a norte, a 50 Km de Tóquio, durante o Verão de 1995. A parede voltada a sul da célula de ensaio foi construída com placas de fibrocimento com uma espessura de 4,7 mm e uma parte dela coberta com trepadeiras que tiveram de crescer até obterem uma espessura de aproximadamente 500 mm. As superfícies interiores das restantes paredes, teto e chão foram isoladas com lã de vidro de maneira a reduzir a transmissão de calor por estas superfícies.

O espaço interior da célula foi dividido em 3 zonas distintas: espaço exposto (sem vegetação), espaço com vegetação e espaço não analisado. O ficheiro de dados climáticos de Tóquio foi importado do EnergyPlus e dois dias quentes comparáveis às medições do estudo de campo foram selecionados para validação.

Tanto o estudo de campo, como a simulação demonstraram que a temperatura do ar interior era mais baixa do que a temperatura do ar exterior durante o dia no espaço com vegetação. Já o espaço exposto, a temperatura do ar interior era superior, sendo que a simulação registou um aumento de 5,5 °C e o estudo de campo 5,9 °C, quando comparada com a temperatura do ar exterior.

A temperatura interior máxima do espaço com vegetação foi inferior à do espaço exposto, sendo que diferenças de 6,1 °C (estudo de campo) e de 5,3 °C (simulação) foram obtidos.

Durante a noite, a simulação demonstrou que a parede do espaço exposto (sem vegetação) perdia calor mais rapidamente quando comparada com a parede com vegetação, sendo que o estudo de campo corroborou tais resultados.

3.4.2.2. Validação 2

Validação retirada de (Holm, 1989)

Neste artigo, uma simulação computacional, com recurso ao programa DEROB-IUA, com validação através de leituras feitas no terreno foi realizada.

DEROB (Dynamic Energy Response Of Buildings), criado por Francisco Arumi-Noé em 1972/1973, mais tarde conhecido por DEROB-IUA (International Users Association), sendo este desenvolvido por F. S. Higgs e outros. O DEROB-IUA foi submetido a extensos estudos paramétricos.

- Modelo da vegetação utilizado

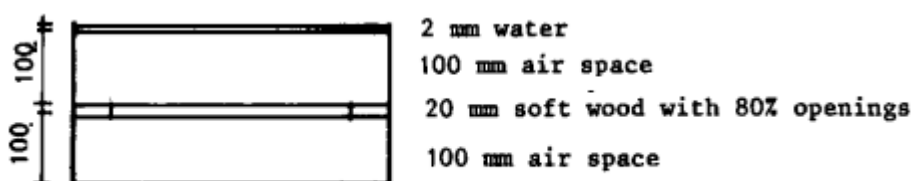


Fig.55 – Modelo que simula uma camada de vegetação de 200 mm. Adaptado de (Holm, 1989)

A camada de água contém uma absorção semelhante à camada de folhagem, $\alpha = 0,96$ para os intervalos 300 – 750 nanómetros (nm) e 1350 – 3000 nm e $\alpha = 0,55$ para o intervalo de 750 – 1300 nm. Após medição da massa térmica da camada de folhagem de 200 mm, por equivalência, a espessura da camada de água foi definida em 2 mm. Além disso, a emissividade (ε) da camada de água foi dada o valor de 0,9.

A camada seguinte é de um espaço de ar com 100 mm de espessura, seguido por uma camada de “softwood” com 80% de aberturas de ventilação e uma espessura de 20 mm, seguido por outra camada de ar com uma espessura de 100 mm. A camada de “softwood” traduz a quantidade média de componentes de madeira medidos em ramos e caules de coberturas vegetais, com espessuras de 200 mm.

- Limitações do modelo

- a) A maioria das plantas conseguem resistir a temperaturas de 0 °C a 50 °C por um breve período de tempo, sendo que depois acabam por morrer. Este modelo não leva em consideração este aspeto.
- b) O ângulo de incidência, em folhas individuais, foi maioritariamente retirado a 15° em testes laboratoriais. Isto, na natureza é bastante variável.
- c) A perda de rigidez por parte da folhagem e a influência do sol no crescimento da vegetação podem influenciar a quantidade de radiação recebida pela área de cobertura de uma folha, sendo que o modelo não leva em conta este aspeto.
- d) As propriedades radiativas de uma única folha sofrem alterações de cerca de 5% e variam conforme as estações. A radiação provinda da interação de várias folhas, tal como encontrado na natureza, é impossível de modelar ou prever. A melhor solução é a de tratar a camada de folhagem como um filtro seletivo.
- e) Efeitos de evapotranspiração não são simulados no modelo.

- Validação do modelo adotado

Para validar o modelo adotado, foi realizada uma experiência que ocorreu no Verão e Inverno durante 4 dias típicos consecutivos.

Foram realizadas medições da velocidade e direção do vento a uma altura de 10 metros do solo, da velocidade do ar entre a camada de folhagem e velocidade do ar a 2 metros de altura, da temperatura das folhas, da temperatura do ar atrás e à frente da camada de folhagem e da temperatura interior.

Quatro placas de aço macio ($500 \times 500 \times 0,6$ mm) foram montadas, individualmente, em poliuretano com 25 mm de espessura, cobertas com folhas de alumínio em ambos os lados. Um espaço de ar de 10 mm foi deixado entre o poliuretano e as placas de aço, onde foi colocado um termoelétrico, soldado à placa de aço com o mínimo de solda possível.

Com isto, obteve-se 4 painéis experimentais. Dois deles foram pintados com preto fosco e os outros dois com branco. Após calibração, 1 painel preto e 1 painel branco foram expostos verticalmente e a uma distância de 100 mm de uma janela ao equador. Os outros 2 painéis (1 preto e 1 branco) foram cobertos com 200 mm de folhagem.

- Resultados

Temperaturas atrás das coberturas vegetais em ambos os painéis, branco e preto, eram idênticas o que significa que a cor da parede por trás da folhagem não é significativa.

No Inverno, durante o dia ambos os painéis sem vegetação atingiram temperaturas mais altas do que a temperatura do ar e durante a noite chegaram a temperaturas mais baixas do que a temperatura do ar.

A temperatura da folhagem, durante o dia, era geralmente mais baixa do que a temperatura do ar, ocorrendo o oposto durante a noite. Já os painéis cobertos pela folhagem, tinham uma temperatura um pouco mais alta do que a folhagem, tanto durante o dia como durante a noite.

Durante o Inverno, a temperatura média dos painéis cobertos era 1,2 °C superior à temperatura média exterior.

No Verão, as diferenças entre a temperatura do ar, a temperatura dos painéis e a temperatura da folhagem eram menores, quando comparadas com as do Inverno.

Ambos os painéis expostos continham uma temperatura maior à temperatura exterior do ar. Os painéis com vegetação mediram a menor variação de temperaturas, sendo que a temperatura média deles é 2,6 °C menor que a temperatura média do ar.

Após obter os resultados experimentais, o autor deste artigo procedeu à simulação com o DEROB-IUA, obtendo gráficos da variação de temperatura onde comparava as temperaturas medidas com as obtidas na simulação. Apresenta-se de seguida a comparação gráfica entre as temperaturas simuladas e medidas, no Inverno e Verão.

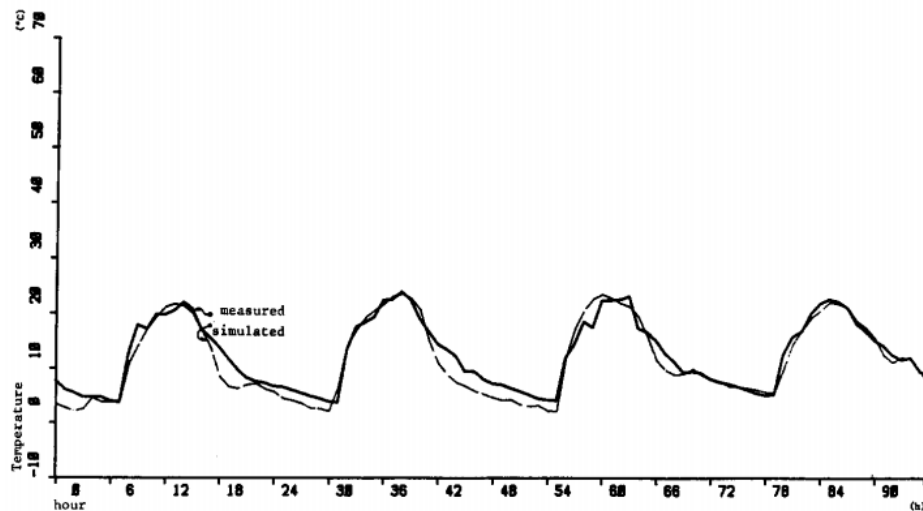


Fig.56 – Temperatura simulada (traço interrompido) e medida (traço cheio) da folhagem para o Inverno

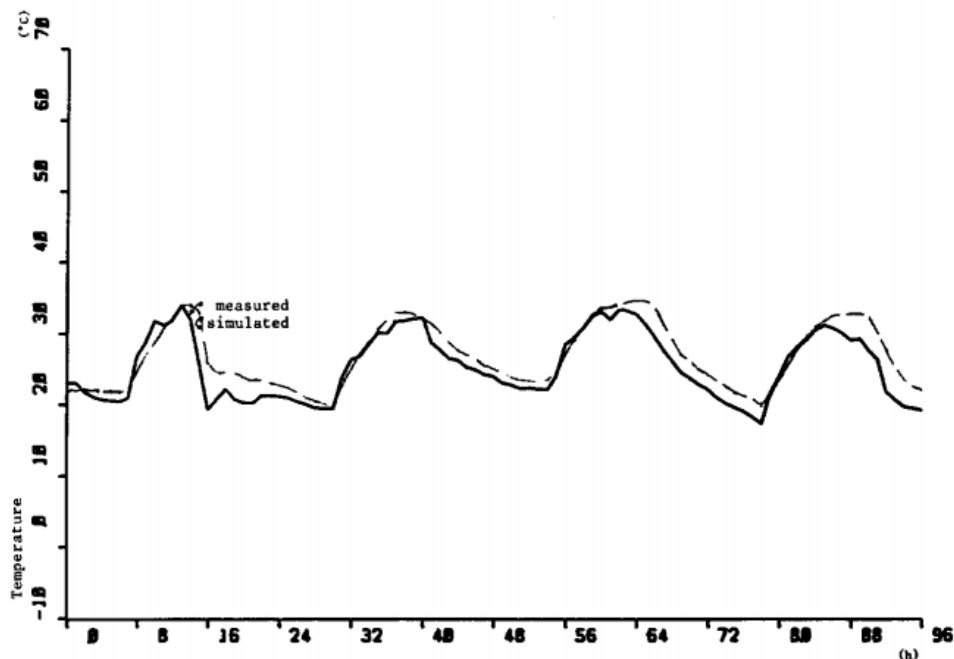


Fig.57 – Temperatura simulada (traço interrompido) e medida (traço cheio) da folhagem para o Verão

O autor chegou a correlações com níveis de probabilidade $p = 0,0001$.

	Correlation coefficient
<i>Winter</i>	
Exposed black panel	0.99
Exposed white panel	0.99
Covered panels	0.97
<i>Summer</i>	
Exposed black panel	0.98
Exposed white panel	0.97
Covered panel	0.93

Fig.58 – Coeficientes de correlação entre temperaturas medidas e simuladas. Retirado de (Holm, 1989)

Dada a forte correlação encontrada entre temperaturas medidas e simuladas, conclui-se que este modelo faz uma boa previsão, pelo menos em intervalos de temperaturas de 0 °C a 50 °C.

4

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. ENQUADRAMENTO

Tal como foi mencionado no subcapítulo 3.1, as variáveis em análise são a temperatura do ar interior do quarto_2, o número de horas de desconforto para o quarto_2 e a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 onde está aplicada a vegetação.

O autor vai expor os resultados destas variáveis e comentá-los em dois cenários diferentes:

- A. Máxima diferença entre a temperatura interior do quarto_2 com VGS e a temperatura interior do quarto_2 sem VGS (para o Inverno) e vice-versa (para o Verão); Máxima diferença entre a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 com VGS e a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 sem VGS (para o Inverno) vice-versa (para o Verão).
- B. Graus hora de desconforto (GHD) e a diferença entre os GHD da situação sem vegetação e os GHD da situação com vegetação.

Do que já foi visto nos capítulos anteriores no Inverno o autor estava à espera de um efeito de isolamento por parte da vegetação, daí que tenha optado por ver as diferenças de temperaturas entre a fachada com VGS e sem VGS. Já no Verão, o autor estava expectante de um comportamento refrescante por parte da vegetação, daí que tenha escolhido ver as diferenças de temperaturas entre a fachada sem VGS e a fachada com VGS.

Os graus hora de desconforto pretendem dar uma resposta correta e simples quanto ao conforto que uma pessoa sente numa habitação. Consegue-se isto, ao fazer a diferença entre a temperatura interior do quarto_2 e a temperatura de conforto para o Verão. Para o Inverno, será a diferença entre a temperatura de conforto e a temperatura interior do quarto_2 (Silva, 2015). Esta temperatura de conforto está definida pelo Regulamento dos Edifícios de Habitação (REH), sendo de 25 °C para o Verão e de 18 °C para o Inverno.

A acumulação deste parâmetro é conseguida pelo somatório das diferenças horárias positivas, ao longo do período analisado. A sua interpretação faz-se da seguinte maneira: quanto menores forem os valores de GHD, menos horas temos em que a temperatura interior é superior (para o Verão) ou inferior (para o Inverno) à temperatura de conforto, logo será a melhor situação.

Relativamente à diferença entre os GHD da situação sem vegetação e da situação com vegetação (traduzida por ΔGHD (°C)), quando as diferenças forem positivas, significa que a vegetação trouxe um

maior conforto quando comparada com a situação sem vegetação, enquanto que para diferenças negativas implica que é melhor não ter vegetação aplicada, pois esta levou a um maior desconforto.

4.2. SEMANA MAIS FRIA DO INVERNO

4.2.1. CENÁRIO A

4.2.1.1. Nota prévia

Neste subcapítulo, o autor apresentará apenas um quadro semelhante ao quadro 7 no subcapítulo 3.1, sendo que a diferença está na coluna extra denominada “Situação #”, que servirá para numerar os casos a comentar nos seguintes subcapítulos, facilitando a organização e leitura.

Quadro 12 – Resumo dos casos simulados e indicação da situação a que se referem

Situação #	Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação
1	Com isolamento	Frac	Este	Sim
				Não
2			Oeste	Sim
				Não
3		Forte	Sul	Sim
				Não
4			Este	Sim
				Não
5			Oeste	Sim
				Não
6			Sul	Sim
				Não
7	Sem isolamento	Forte	Este	Sim
				Não
8			Oeste	Sim
				Não
9		Forte	Sul	Sim
				Não

4.2.1.2. Évora

Quadro 13 – Resultados obtidos para Évora durante a semana mais fria do Inverno

Situação #	Máxima diferença (°C)	
	Temperatura interior do quarto_2 com VGS - Temperatura interior do quarto_2 sem VGS	Temperatura superficial interior da parede do quarto_2 com VGS - Temperatura superficial interior da parede do quarto_2 sem VGS
1	0,05	0,18
2	0,05	0,16
3	0,04	0,22
4	0,10	0,24
5	0,10	0,22
6	0,07	0,24
7	0,47	2,01
8	0,47	2,12
9	0,45	2,32

Podemos observar que a habitação com isolamento tem as diferenças mais baixas, o que já era expectável, pois trata-se de uma habitação que conserva melhor o calor.

A habitação sem isolamento e com inércia forte é a que apresenta maiores diferenças de temperaturas, sendo a orientação Oeste (situação #8) e Sul (situação #9) as que apresentam a maior diferença em termos de temperatura interior e a orientação Sul a que apresenta a maior diferença em relação à temperatura superficial interior.

Na habitação com isolamento, as situações com inércia forte são as que apresentam maiores diferenças. A orientação Este (situação #4) e Oeste (situação #5) têm a maior diferença entre a temperatura interior do quarto_2 com VGS e a temperatura interior do quarto_2 sem VGS, sendo as orientações Este e Sul (situação #6) as que apresentam a maior diferença entre a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 com VGS e a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 sem VGS.

4.2.1.3. Bragança

Quadro 14 – Resultados obtidos para Bragança durante a semana mais fria do Inverno

Situação #	Máxima diferença (°C)	
	Temp. int. do quarto_2 com VGS – Temp. int. do quarto_2 sem VGS	Temp. sup. int. da parede do quarto_2 com VGS – Temp. sup. int. da parede do quarto_2 sem VGS
1	0,05	0,19
2	0,05	0,19
3	0,02	0,20
4	0,11	0,27
5	0,11	0,28
6	0,03	0,24
7	0,68	2,40
8	0,68	2,36
9	0,60	2,51

Em Bragança, os mesmos resultados observados em Évora são identificados, exceto pela ordem de grandeza, que é superior à ordem de grandeza de Évora.

4.2.1.4. Porto de Mós

Quadro 15 – Resultados obtidos para Porto de Mós durante a semana mais fria do Inverno

Situação #	Máxima diferença (°C)	
	Temp. int. do quarto_2 com VGS – Temp. int. do quarto_2 sem VGS	Temp. sup. int. da parede do quarto_2 com VGS – Temp. sup. int. da parede do quarto_2 sem VGS
1	0,05	0,23
2	0,06	0,26
3	0,05	0,28
4	0,11	0,29
5	0,11	0,30

6	0,10	0,33
7	0,58	2,17
8	0,56	2,12
9	0,54	2,13

Em Porto de Mós, nota-se que a situação de inércia forte numa habitação sem isolamento (situações #7, #8 e #9) é a que introduz maiores diferenças em termos de temperaturas interiores e superficiais interiores, tal como em Évora e Bragança.

O mesmo se passa, quando se compara a habitação com isolamento para inércia fraca e forte, sendo a situação de inércia forte a que oferece maiores diferenças de temperaturas.

4.2.2. CENÁRIO B

4.2.2.1. Évora

Quadro 16 – Resultados dos GHD obtidos para Évora durante a semana mais fria do Inverno

Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação	GHD (°C)	Δ GHD (°C)
Com isolamento	Frac	Este	Sim	1056,45	3,41
			Não	1059,86	
		Oeste	Sim	1066,20	2,66
			Não	1068,86	
		Sul	Sim	1069,31	0,99
			Não	1070,30	
	Forte	Este	Sim	1042,71	10,19
			Não	1052,90	
		Oeste	Sim	1052,30	9,6
			Não	1061,90	
		Sul	Sim	1057,21	3,9
			Não	1061,11	
Sem isolamento	Forte	Este	Sim	1106,55	17,41
			Não	1123,96	
		Oeste	Sim	1115,75	19,87
			Não	1135,62	

Sul	Sim	1126,03	0,51
	Não	1125,52	

De entre as várias situações, a habitação com isolamento, inércia forte e fachada Este com o VGS aplicado é a que fornece um melhor conforto aos utilizadores e das situações para a habitação com isolamento também foi a que apresentou uma maior redução em termos de GHD (10,19 °C).

Apesar disso, a habitação sem isolamento, inércia térmica forte e fachada Oeste foi a que conseguiu uma maior redução de GHD (19,87 °C) quando comparadas todas as situações.

Além disso, todas as situações com vegetação aplicada na parede em estudo, resultaram em GHD menores, quando comparadas com as situações sem vegetação aplicada na parede do quarto_2. A única exceção a isto, é a habitação sem isolamento, inércia forte e orientação Sul. Esta, apresenta GHD superiores quando tem o VGS aplicado na fachada Sul, apesar de apresentar uma diferença muito pouco significativa (0,51 °C).

4.2.2.2. Bragança

Quadro 17 – Resultados dos GHD obtidos para Bragança durante a semana mais fria do Inverno

Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação	GHD (°C)	ΔGHD (°C)
Com isolamento	Frac	Este	Sim	1619,97	3,92
			Não	1623,89	
		Oeste	Sim	1634,52	3,88
			Não	1638,40	
		Sul	Sim	1636,46	-0,79
			Não	1635,67	
	Forte	Este	Sim	1588,72	12,72
			Não	1601,44	
		Oeste	Sim	1604,03	11,98
			Não	1616,01	
		Sul	Sim	1612,95	-1,46
			Não	1611,49	
Sem isolamento	Forte	Este	Sim	1629,71	15,53
			Não	1645,24	
		Oeste	Sim	1653,61	12,64

	Sul	Não	1666,25	-37,63
		Sim	1678,75	
		Não	1641,12	

A habitação com isolamento, inércia térmica forte e orientação Este foi a situação de maior conforto, sendo também, entre as situações da habitação com isolamento, aquela que introduziu a maior diferença de GHD (12,72 °C).

No entanto, a situação que apresentou a maior diferença de GHD encontra-se na habitação sem isolamento, inércia térmica forte e orientação Este (15,53 °C).

Em Bragança já se notam mais casos em que não ter a fachada com VGS implica um maior conforto para as pessoas. Em todas as situações, isto é observado nas fachadas Sul. Uma possível explicação para isto, será o sombreamento por parte da vegetação, que impede a radiação de aquecer a parede e desde logo o quarto_2, levando a um menor conforto.

4.2.2.3. Porto de Mós

Quadro 18 – Resultados dos GHD obtidos para Porto de Mós durante a semana mais fria do Inverno

Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação	GHD (°C)	ΔGHD (°C)
Com isolamento	Frac	Este	Sim	703,38	5,18
			Não	708,56	
		Oeste	Sim	713,45	6,03
			Não	719,48	
		Sul	Sim	712,97	3,17
			Não	716,14	
	Forte	Este	Sim	645,61	12,66
			Não	658,27	
		Oeste	Sim	654,68	13,61
			Não	668,29	
		Sul	Sim	655,28	7,97
			Não	663,25	
Sem isolamento	Forte	Este	Sim	914,81	10,18
			Não	924,99	
		Oeste	Sim	933,93	12,96
			Não	946,89	

Sul	Sim	932,18	-4,18
	Não	928,00	

Porto de Mós apresenta apenas uma situação onde não ter a fachada com vegetação se revela mais confortável. Essa situação é a de uma habitação sem isolamento, inércia forte e fachada com vegetação voltada a Sul, com uma diferença de GHD de -4,18 °C.

A situação com mais conforto é a da habitação com isolamento, inércia forte e vegetação na fachada Este, no entanto não foi a que apresentou a maior diferença de GHD para a situação da habitação com isolamento e sem isolamento. Essa, foi a da habitação com isolamento, inércia térmica forte e vegetação na fachada Oeste, com uma diferença de 13,61 °C. Tal como para as duas regiões anteriores, a orientação Este é a que apresenta o menor número de horas de desconforto, quer a habitação esteja isolada ou não.

4.3. SEMANA MAIS QUENTE DO VERÃO

4.3.1. CENÁRIO A

4.3.1.1. Nota prévia

Nos seguintes quadros, a coluna denominada de “Situação #” tem como base o quadro indicado no subcapítulo 4.2.1.1.

4.3.1.2. Évora

Quadro 19 – Resultados obtidos para Évora durante a semana mais quente do Verão

Situação #	Máxima diferença (°C)	
	Temperatura interior do quarto_2 sem VGS - Temperatura interior do quarto_2 com VGS	Temperatura superficial interior da parede do quarto_2 sem VGS - Temperatura superficial interior da parede do quarto_2 com VGS
1	0,08	0,28
2	0,07	0,27
3	0,08	0,31
4	0,09	0,25
5	0,05	0,28
6	0,10	0,39
7	0,32	2,18
8	0,45	2,39

9	0,55	2,87
---	------	------

A habitação sem isolamento e inércia forte (situações #7, #8 e #9) é a que tem maiores diferenças em termos de temperaturas.

Para as situações com isolamento, a habitação com inércia forte resultou em maiores diferenças entre a temperatura interior do quarto_2 com VGS e a temperatura interior do quarto_2 sem VGS, assim como entre a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 com VGS e a temperatura superficial interior da parede do quarto_2 sem VGS.

4.3.1.3. Bragança

Quadro 20 – Resultados obtidos para Bragança durante a semana mais quente do Verão

Situação #	Máxima diferença (°C)	
	Temp. int. do quarto_2 sem VGS – Temp. int. do quarto_2 com VGS	Temp. sup. int. da parede do quarto_2 sem VGS – Temp. sup. int. da parede do quarto_2 com VGS
1	0,07	0,19
2	0,06	0,22
3	0,07	0,21
4	0,12	0,39
5	0,10	0,45
6	0,10	0,18
7	0,48	2,77
8	0,51	3,36
9	0,41	2,56

A situação #8 é aquela que apresenta maiores diferenças em termos de temperaturas interior e superficial interior.

Tal como ocorreu para Évora, a habitação sem isolamento e inércia forte foi aquela que produziu maiores diferenças em termos de temperaturas. E nas situações #1 a #6, a habitação com inércia forte foi a que resultou em maiores diferenças em termos de temperatura interior.

4.3.1.4. Porto de Mós

Quadro 21 – Resultados obtidos para Porto de Mós durante a semana mais quente do Verão

Situação #	Máxima diferença (°C)	
	Temp. int. do quarto_2 sem VGS – Temp. int. do quarto_2 com VGS	Temp. sup. int. da parede do quarto_2 sem VGS – Temp. sup. int. da parede do quarto_2 com VGS
1	0,07	0,18
2	0,06	0,17
3	0,06	0,14
4	0,10	0,35
5	0,07	0,35
6	0,06	0,24
7	0,44	2,53
8	0,43	3,33
9	0,32	2,14

As situações #7 a #9, foram as que produziram diferenças de temperatura superiores, quando comparadas com as restantes situações.

Quando se trata da temperatura interior, a habitação com isolamento não tem diferenças relevantes quando se compara a situação de inércia forte e inércia fraca. Já o contrário acontece com as temperaturas superficiais interiores, tendo estas diferenças consideráveis.

4.3.2. CENÁRIO B

4.3.2.1. Évora

Quadro 22 – Resultados dos GHD obtidos para Évora durante a semana mais quente do Verão

Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação	GHD (°C)	ΔGHD (°C)
Com isolamento	Frac	Este	Sim	594,57	-1,11
			Não	593,46	
		Oeste	Sim	579,20	-1,54
			Não	577,66	

Sem isolamento	Forte	Sul	Sim	595,44	0,16
			Não	595,60	
		Este	Sim	583,03	1,3
			Não	584,33	
		Oeste	Sim	571,97	-1,76
			Não	570,21	
	Frac	Sul	Sim	586,42	2,56
			Não	588,98	
		Este	Sim	547,35	8,28
			Não	555,63	
		Oeste	Sim	534,67	0,87
			Não	535,54	
Com isolamento	Forte	Sul	Sim	551,88	11,54
			Não	563,42	

A habitação sem isolamento, inércia forte e com a vegetação aplicada na fachada voltada a Oeste, é a mais confortável das situações apresentadas, apesar de que quando comparada com a situação sem vegetação, não se trata de uma diferença relevante. Além disso, também foi a situação com a maior diferença de GHD (11,54 °C) quando comparada com todas as outras situações.

Em várias situações verifica-se que o uso de vegetação é benéfico quando comparado com a falta dela, exceto em três situações. Até nestas situações, relativamente às diferenças entre os GHD de fachadas com vegetação e sem vegetação, estas são pequenas (menores a 2 °C).

4.3.2.2. Bragança

Quadro 23 – Resultados dos GHD obtidos para Bragança durante a semana mais quente do Verão

Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação	GHD (°C)	ΔGHD (°C)
Com isolamento	Frac	Este	Sim	160,15	3,75
			Não	163,90	
		Oeste	Sim	157,78	3,22
			Não	161,00	
		Sul	Sim	175,29	2,88
			Não	178,17	

Sem isolamento	Forte	Este	Sim	114,66	6,14
			Não	120,80	
		Oeste	Sim	112,50	5,11
			Não	117,61	
		Sul	Sim	129,52	4,28
			Não	133,80	
	Forte	Este	Sim	267,10	9,18
			Não	276,28	
		Oeste	Sim	264,35	2,22
			Não	266,57	
		Sul	Sim	295,43	-3,15
			Não	292,28	

Em geral, podemos ver que a vegetação tem um efeito positivo sob os GHD na habitação, independentemente de ter isolamento ou não e de ter inércia fraca ou forte.

Só existe um caso em que não se verifica o efeito benéfico, tratando-se esse da habitação sem isolamento e inércia forte, fachada com vegetação orientada a Sul.

A habitação sem isolamento, inércia forte e fachada com vegetação orientada a Este, foi a que resultou numa descida maior dos GHD, com uma diferença de 9,18 °C, tornando-se a situação mais beneficiada pela vegetação.

4.3.2.3. Porto de Mós

Quadro 24 – Resultados dos GHD obtidos para Porto de Mós durante a semana mais quente do Verão

Habitação	Inércia térmica	Orientação parede do quarto_2	Vegetação	GHD (°C)	ΔGHD (°C)
Com isolamento	Frac	Este	Sim	97,74	2,42
			Não	100,16	
		Oeste	Sim	96,32	1,91
			Não	98,23	
		Sul	Sim	111,90	1,18
			Não	113,08	
	Forte	Este	Sim	63,98	4,68
			Não		

		Não	68,66	3,13
		Sim	63,10	
		Não	66,23	
		Sim	79,10	1,8
		Não	80,90	
Sem isolamento		Sim	139,04	14,19
		Não	153,23	
	Oeste	Sim	143,57	-1,19
		Não	142,38	
	Sul	Sim	172,03	-6,18
		Não	165,85	
	Forte			

A melhor situação de conforto, ocorre na habitação com isolamento, inércia forte e fachada com VGS aplicado orientada a Oeste. Apesar disso, a maior redução em termos de GHD, ocorreu para a habitação sem isolamento, inércia térmica forte e orientação Este, com um valor de 14,19 °C.

As situações de maior desconforto acontecem para a habitação sem isolamento e inércia forte, sendo que a orientação Oeste não tem uma grande diferença em relação aos GHD quando comparados os casos com vegetação e sem vegetação.

Apesar disso, podemos ver que existem mais situações onde a vegetação teve um efeito positivo do que negativo.

5

CONCLUSÃO

5.1. CONCLUSÕES PRINCIPAIS

Na semana mais fria do Inverno, conclui-se que o VGS se revela mais vantajoso (GHD na habitação com vegetação < GHD na habitação sem vegetação) na região de Évora, pois só tem uma situação em que os GHD na habitação com vegetação são maiores aos GHD na habitação sem vegetação. Já a região mais desvantajosa foi Bragança, onde se encontrou 3 casos em que os GHD na habitação com vegetação são superiores aos GHD na habitação sem vegetação.

É de referir que tanto para as situações vantajosas como desvantajosas, nos cenários estudados, as diferenças entre os GHD das situações com vegetação e os GHD das situações sem vegetação não eram muito significativos. Aliás, variam num intervalo entre os 1,46 °C e 37,63 °C.

Na semana mais quente do Verão, a situação mais favorável (GHD na habitação com vegetação < GHD na habitação sem vegetação) encontra-se em Bragança, porque só tem um caso em que os GHD na habitação com vegetação são maiores aos GHD na habitação sem vegetação. Em Évora encontramos a região mais desfavorável, pois esta tem 3 casos em que os GHD na habitação com vegetação são maiores aos GHD na habitação sem vegetação.

É de referir que tal como aconteceu na semana mais fria do Inverno, para as situações vantajosas como desvantajosas, as diferenças entre os GHD das situações com vegetação e os GHD das situações sem vegetação não eram muito significativos. Aliás, variam num intervalo entre os 0,87 °C e 6,14 °C.

Relativamente a conclusões obtidas de outras literaturas, nomeadamente as referidas nos subcapítulos 2.4 e 2.5, as seguintes foram também encontradas nesta tese:

- Redução em termos de flutuações diárias de temperatura, tanto para o Verão como para o Inverno;
- Durante o Verão, a temperatura superficial interior da fachada com vegetação é mais baixa quando comparada com a fachada sem vegetação;
- No Inverno, a vegetação funciona como uma camada extra de isolamento, conservando o calor;
- As maiores reduções de temperaturas deram-se nas fachadas Este e Oeste, para o Verão;

Do ponto de vista térmico, a vegetação não introduziu grandes vantagens para o tipo de habitação estudada e para o clima português. É de referir que a divisão em estudo, continha duas paredes exteriores com orientações diferentes, daí que o autor não possa concluir por definitivo qual a melhor fachada a aplicar vegetação.

5.2. PROPOSTAS DE DESENVOLVIMENTO FUTURO

Esta tese serve como um ponto de partida para o estudo da integração de vegetação nas fachadas de habitações em climas portugueses.

De futuro, sugere-se o estudo de outras tipologias de edifícios e soluções construtivas correntes em Portugal para uma melhor representação dos efeitos da vegetação. Além disso, o desenvolvimento de modelos que simulem os diferentes VGS e dos aspetos térmicos mencionados em 2.4 (sombreamento, arrefecimento, isolamento e barreira contra o vento) é fundamental para obter resultados que estejam o mais próximo da realidade.

Se possível, deveriam ser desenvolvidos estudos de campo para estudar o efeito da vegetação nas habitações portuguesas, pois forneceriam uma base realista de dados térmicos para o clima português e para a construção portuguesa. Vegetação tipicamente portuguesa também é sugerida como material de estudo, pois facilitaria a implementação dos VGS, ao utilizar recursos locais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTONYOVÁ, Anna; ANTONY, Peter; KORJENIC, Azra (2017) - Evaluation the hygrothermal effects of integration the vegetation into the building envelope. *Energy and Buildings* [Em linha]. 136: 121-138. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778816317947>>. ISSN 0378-7788.
- BARREIRO, Catarina Moreira (2016) - *Avaliação da Integração de Sistemas Solares Passivos em Edifícios*. Porto: Faculdade de Engenharia Mestrado.
- BLANC, Patrick (2008) - *Brasserie Moritz* [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/barcelona/brasserie-moritz>>.
- BLAZE, Shaynna - *Tips to Decorate a Small Outdoor Space* [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.lifestyle.com.au/diy/tips-to-decorate-a-small-outdoor-space.aspx>>.
- BORGA, Pedro Nuno Liberato Vieira (2012) - *Análise Exigencial dos Green Roofs - Estudo de Casos*. Porto: Faculdade de Engenharia Mestrado.
- CARLOS, Jorge S. (2015) - Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal. *Building Simulation* [Em linha]. 8:1. 3-11. Disponível em WWW: <URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s12273-014-0187-2>>. ISSN 1996-8744.
- CHENG, C. Y.; CHEUNG, Ken K. S.; CHU, L. M. (2010) - Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. *Building and Environment* [Em linha]. 45:8. 1779-1787. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310000545>>. ISSN 0360-1323.
- DESIGNBUILDER - *Green Roof* [Em linha]. [Consult. 17 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#GreenRoof.htm%3FTocPath%3DComponents%7CMaterials%7C>>.
- - *Scheduled Natural Ventilation Data* [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.designbuilder.co.uk/helpv5.0/#ScheduledNatVent.htm>>.
- ELGIZAWY, Ebtesam M. (2016) - The Effect of Green Facades in Landscape Ecology. *Procedia Environmental Sciences* [Em linha]. 34: 119-130. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616300342>>. ISSN 1878-0296.
- FERREIRA, Ana Paula Bernardino (2015) - *Coberturas Vivas Verticais - Adaptação à cidade de Lisboa*. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia. Mestrado.
- FRANCIS, Robert A.; LORIMER, Jamie (2011) - Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management* [Em linha]. 92:6. 1429-1437. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479711000132>>. ISSN 0301-4797.
- GASPAR, Vera Filipa Gomes (2013) - *Desempenho energético de edifícios de serviços solares passivos*. Lisboa: Universidade de Lisboa. Mestrado.
- GREENROOFS - *Introduction to Green Walls Technology, Benefits & Design* [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <http://greenscreen.com/company/green-walls/>>.
- HOLM, D. (1989) - Thermal improvement by means of leaf cover on external walls — A simulation model. *Energy and Buildings* [Em linha]. 14:1. 19-30. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877888990025X>>. ISSN 0378-7788.
- HUNTER, Annie M. [et al.] (2014) - Quantifying the thermal performance of green façades: A critical review. *Ecological Engineering* [Em linha]. 63: 102-113. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857413005211>>. ISSN 0925-8574.

- JIM, C. Y.; HE, Hongming (2011) - Estimating heat flux transmission of vertical greenery ecosystem. Ecological Engineering [Em linha]. 37:8. 1112-1122. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092585741100070X>>. ISSN 0925-8574.
- JURI YOSHIMI; ALTAN, Hasim (2011) - Thermal Simulations on the Effects of Vegetated Walls on Indoor Building Environments. In 12th Conference of International Building Performance Simulation Association. Sydney: 2011.
- KMIEĆ, Maria (2014) - Green Wall Technology. Cracóvia: Consult. em 18 Junho 2017. Disponível em WWW: <http://www.ejournals.eu/sj/index.php/Cz/article/view/2442/pdf_2>.
- KÖHLER, Manfred (2008) - Green facades—a view back and some visions. Urban Ecosystems [Em linha]. 11:4. 423. Disponível em WWW: <URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x>>. ISSN 1573-1642.
- KONTOLEON, K. J.; EUMORFOPOULOU, E. A. (2010) - The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. Building and Environment [Em linha]. 45:5. 1287-1303. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309003382>>. ISSN 0360-1323.
- LNEG - CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios [Em linha]. [Consult. 17 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>>.
- LOH, Susan (2008) - Living walls - a way to green the built environment. BEDP Environment Design Guide [Em linha]. 1:TEC 26. 1 - 7. Disponível em WWW: <URL: <http://eprints.qut.edu.au/28172/>>.
- MANGONE, Giancarlo; KURVERS, S. R.; LUSCUERE, P. G. (2014) - Constructing thermal comfort: Investigating the effect of vegetation on indoor thermal comfort through a four season thermal comfort quasi-experiment. Building and Environment [Em linha]. 81: 410-426. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314002431>>. ISSN 0360-1323.
- MANGONE, Giancarlo; VAN DER LINDEN, Kees (2014) - Forest microclimates: Investigating the performance potential of vegetation at the building space scale. Building and Environment [Em linha]. 73: 12-23. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313003260>>. ISSN 0360-1323.
- MANSO, Maria; CASTRO-GOMES, João (2015) - Green wall systems: A review of their characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews [Em linha]. 41: 863-871. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114006637>>. ISSN 1364-0321.
- MAZZALI, Ugo [et al.] (2013) - Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. Building and Environment [Em linha]. 64: 57-66. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231300084X>>. ISSN 0360-1323.
- MISCHNER, Jessica - Planter Wall Tiles Breathe Life into a Room — Literally [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <http://inhabitat.com/green-pockets-breathe-new-life-into-a-room%E2%80%94literally/>>.
- OBSERVATORY, Earth - Earth Observatory [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <https://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/page2.php>>.
- OLIVEIRA, Ana Sofia Saraiva Borda De (2014) - Pérgulas - Evolução, Planeamento e Construção. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia. Mestrado.
- OTTELÉ, Marc - The Green Building Envelope - Vertical Greening [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:1e38e393-ca5c-45af-a4fe-31496195b88d?collection=research>>.

- OTTELÉ, Marc [et al.] (2011) - Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. *Energy and Buildings* [Em linha]. 43:12. 3419-3429. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811003987>>. ISSN 0378-7788.
- PECK, Steven W [et al.] (1999) - *Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada*. CMHC.
- PÉREZ, G. [et al.] (2011a) - Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. *Energy Conversion and Management* [Em linha]. 52:4. 1861-1867. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S019689041000508X>>. ISSN 0196-8904.
- PÉREZ, Gabriel [et al.] (2014) - Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Em linha]. 39: 139-165. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114005073>>. ISSN 1364-0321.
- PÉREZ, Gabriel [et al.] (2011b) - Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy* [Em linha]. 88:12. 4854-4859. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191100420X>>. ISSN 0306-2619.
- PERINI, K. , Ottelé, M. , Haas, E. and Raiteri, R. (2011) - Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology* [Em linha]. 1:1-8.
- PERINI, Katia [et al.] (2011) - Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment* [Em linha]. 46:11. 2287-2294. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231100148X>>. ISSN 0360-1323.
- PERINI, Katia [et al.] (2013) - Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosystems* [Em linha]. 16:2. 265-277. Disponível em WWW: <URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s11252-012-0262-3>>. ISSN 1573-1642.
- PERINI, Katia; ROSASCO, Paolo (2013) - Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment* [Em linha]. 70: 110-121. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313002382>>. ISSN 0360-1323.
- PINHEIRO, Manuel (2003) - *Construção sustentável: mito ou realidade*. 2003.
- RAJI, Babak; TENPIERIK, Martin J.; VAN DEN DOBBELSTEEN, Andy (2015) - The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Em linha]. 45: 610-623. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115000994>>. ISSN 1364-0321.
- SAFIKHANI, Tabassom [et al.] (2014) - A review of energy characteristic of vertical greenery systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [Em linha]. 40: 450-462. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114006182>>. ISSN 1364-0321.
- SHEWEKA, S. M.; MOHAMED, N. M. (2012) - Green Facades as a New Sustainable Approach Towards Climate Change. *Energy Procedia* [Em linha]. 18: 507-520. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610212008326>>. ISSN 1876-6102.
- SHEWEKA, Samar; MAGDY, Arch Nourhan (2011) - The Living walls as an Approach for a Healthy Urban Environment. *Energy Procedia* [Em linha]. 6: 592-599. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211014792>>. ISSN 1876-6102.
- SILVA, Ana Francisca Félix Soares Torres Da (2015) - *Conforto de Verão em Edifícios - Arquitetura Tradicional VS Arquitetura Contemporânea*. Porto: Faculdade de Engenharia. Mestrado.
- SILVA, João Ricardo Rodrigues da (2002) - *Coberturas e Fachadas Verdes*. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa. Mestrado.
- SIMÕES, Eduardo Jorge (2012) - *Integração do Elemento Vegetal no Edificado*. Lisboa: Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Mestrado.

- SOUSA, Rogério Bastos de (2012) - Jardins Verticais - um contributo para os espaços verdes urbanos e oportunidade na reabilitação do edificado. Porto: Universidade Lusófona Mestrado.
- SUSOROVA, Irina; AZIMI, Parham; STEPHENS, Brent (2014) - The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations. Building and Environment [Em linha]. 76: 113-124. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314000638>>. ISSN 0360-1323.
- TIMUR, Özgür Burhan; KARACA, Elif (2013) - Vertical Gardens. In ÖZYAVUZ, Murat Advances in Landscape Architecture. Rijeka: InTech. p. Ch. 22.
- VASCONCELOS, Pedro António de Matos Parente (2012) - Fachadas Verdes - Técnicas de Aplicação no Contexto dos Espaços Urbanos. Vila Real: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Mestrado.
- VIRTUDES, A.; IOP (2016) - Benefits of Greenery in Contemporary City. In World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium.
- VIRTUDES, Ana - Benefits of Greenery in Contemporary City [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/44/3/032020>>.
- WALLS, Plants on - [Em linha]. [Consult. 18 Junho 2017]. Disponível em WWW: <URL: <https://www.plantsonwalls.com/Florafelt-Vertical-Garden-Planters-s/33.htm>>.
- WONG, Nyuk Hien [et al.] (2010a) - Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. Building and Environment [Em linha]. 45:3. 663-672. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013230900198X>>. ISSN 0360-1323.
- WONG, Nyuk Hien [et al.] (2010b) - Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. Building and Environment [Em linha]. 45:2. 411-420. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309001632>>. ISSN 0360-1323.
- WONG, Nyuk Hien [et al.] (2009) - Energy simulation of vertical greenery systems. Energy and Buildings [Em linha]. 41:12. 1401-1408. Disponível em WWW: <URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880900190X>>. ISSN 0378-7788.